

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky**

**Optimalizace soustav veřejného osvětlení z hlediska
environmentálních vlivů**

**Optimization of public lighting systems in terms of environmental
impacts**

2016

Ondřej Kopa

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Ondřej Kopa

B2649 Elektrotechnika

3907R001 Elektroenergetika

Téma: Optimalizace osvětlovacích soustav veřejného osvětlení z hlediska
 eniromentálních vlivů
Optimization of public lighting systems in terms of environmental
 impacts

čestina

Zásady pro vypracování:

1. Svítidla a světelné zdroje používané ve veřejném osvětlení
2. Výpočtové metody pro návrhy veřejného osvětlení
3. Konfliktní oblasti v dopravě
4. Metodické pokyny pro přisvětlování přechodů pro chodce
5. Návrh vybrané osvětlovací soustavy s uplatněním nejnovějších enviromentálních poznatků

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Sokanský, K.: Světelná technika. ČVUT, Praha 2011
2. Habel, J.: Světlo a osvětlování. FCC Public, Praha 2013
3. Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, Sborníky VŠB-TU
4. Manuály k výpočetním programům (Relux, Dialux, WILS)
5. www.csorsostrava.cz
6. ČSN CEN/TR 13 201-1; ČSN EN 13201-2-4 - Soubor norem pro osvětlování pozemních komunikací
7. Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací, kapitola 15, Osvětlení pozemních komunikací, Dodatek č. 1 - Přisvětlování přechodů - Ministerstvo dopravy ČR 2013

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.**

01.09.2015

29.04.2016




prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry

prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 25. dubna 2016


.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval prof. Ing. Karlu Sokanskému, CSc. za odbornou pomoc a konzultaci při psaní bakalářské práce.

Abstrakt

V bakalářské práci se nachází popis environmentálních vlivů a je zde provedena praktická ukázka negativního působení rušivého světla vnikajícího do okna bytového domu a vyhodnocení jasových snímků přechodu pro chodce pro dva jízdní směry na ulici 17. listopadu v obci Bílovec. Jedná se o to, aby soustavy veřejného osvětlení (VO) neoslňovaly a nerušily okolní prostředí.

Klíčová slova

Veřejné osvětlení, osvětlovací soustava, rušivé světlo, světelné zdroje, osvětlení, jas, výpočet osvětlení, osvětlení přechodů

Abstract

The primary aim of this bachelor thesis is to describe environmental impacts, especially the negative effect of stray light from the public lighting that enters the window of a residential building. The practical experiment has been performed in the small village called Bilovec. The conclusion of this work ensures that the public lighting system does not dazzle and disturb the surrounding environment.

Key words

Public lighting, illumination system, stray light, light source, lighting, brightness, calculation of illumination, lighting of crossing

Obsah

Seznam použitých symbolů.....	- 9 -
Seznam použitých zkratek.....	- 10 -
Seznam ilustrací a seznam tabulek.....	- 11 -
Úvod.....	- 13 -
1 Svítidla a světelné zdroje používané ve VO.....	- 14 -
1.1 Světelné zdroje.....	- 14 -
1.2 Halogenidové výbojky	- 14 -
1.3 Vysokotlaké sodíkové výbojky	- 15 -
1.4 Světelné diody LED	- 16 -
1.5 Kompaktní zářivky.....	- 17 -
1.6 Rtuťové vysokotlaké výbojky	- 18 -
1.7 Sodíkové nízkotlaké výbojky	- 19 -
1.8 Sodíko-xenonové výbojky	- 19 -
1.9 Svítidla ve veřejném osvětlení	- 20 -
2 VÝPOČTOVÉ METODY PRO NÁVRHY VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ.....	- 22 -
2.1 Bodové metody	- 22 -
2.1.1 Aplikace ve venkovním osvětlení.....	- 22 -
2.2 Tokové metody	- 25 -
2.2.1 Aplikace ve venkovním osvětlení	- 25 -
3 Konfliktní oblasti v dopravě.....	- 28 -
3.1 Osvětlení přechodů pro chodce.....	- 28 -
1.1.1 Směr jízdy.....	- 30 -
1.1.2 Směr jízdy.....	- 30 -
1.1.3 Směr jízdy.....	- 30 -
3.2 Osvětlení přechodů pro chodce podle norem.....	- 30 -
3.2.1 NB.1.1 Osvětlení přechodu pro chodce s pozitivním kontrastem	- 31 -
3.2.2 NB.1.2 Osvětlení přechodu pro chodce s negativním kontrastem.....	- 31 -
4 Metodické pokyny pro přisvětlení přechodů.....	- 33 -
4.1 Technický popis	- 33 -
4.2 Příklad přisvětlení přechodů pro chodce.....	- 33 -
4.3 Situační příklady řešení přechodů.....	- 34 -

Seznam použitých symbolů

4.4	Obecné požadavky	- 34 -
4.5	Požadavky na přisvětlení	- 36 -
4.6	Měření a vyhodnocení přechodu.....	- 37 -
	Popis venkovní osvětlovací soustavy	- 37 -
4.6.1	Postup měření:	- 37 -
4.6.2	Měřené prostory	- 38 -
4.6.3	Svítlidla a zdroje.....	- 38 -
4.6.4	Naměřené a vypočtené hodnoty pro přechod a komunikaci.....	- 38 -
4.6.5	Udržovací činitel	- 38 -
4.6.6	Požadované hodnoty osvětlení	- 38 -
4.6.7	Výsledky měření vertikální a horizontální osvětlenosti přechodu	- 39 -
4.6.8	Jasová analýza přechodu	- 40 -
5	Návrh vybrané osvětlovací soustavy s uplatněním nejnovějších environmentálních poznatků - 41 -	
5.1	Světelně technické měření rušivého světla veřejného osvětlení a osvětlení přechodu v obci Bílovec	- 43 -
5.1.1	Popis venkovní osvětlovací soustavy	- 43 -
5.1.2	Svítlidla a světelné zdroje.....	- 43 -
5.1.3	Postup měření	- 43 -
5.1.4	Měřené prostory	- 44 -
5.1.5	Měřicí přístroje	- 44 -
5.1.6	Udržovací činitel	- 44 -
5.1.7	Vyhodnocení měření rušivého světla	- 44 -
5.1.8	Technické parametry svítidla VYRTYCH HORNET -P -150H	- 45 -
	Závěr	- 48 -
	Použitá literatura	- 49 -
	Seznam příloh.....	- 50 -

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
E	lx	Osvětlenost
Em	lx	Udržovaná osvětlenost
D	m	Rozteč mezi body
H	m	Montážní výška svítidla
I	cd	svítivost
L	Cd/m ²	jas
N		počet výpočtových bodů
S	m	rozteč mezi svítidly
Ra	-	Index barevného podání
b	m	Šířka komunikace
r		Redukovaný koeficient jasu
q	cd·m ⁻² ·lx ⁻¹	Součinitel jasu
z		Udržovací činitel
Φ	lm	Světelný tok
η	%	Účinnost svítidla
ε	°	Úhel dopadu světelného paprsku

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
Cca	Přibližně
EN	Evropská norma
CIE	Mezinárodní komise pro osvětlování
ČSN	Česká technická norma
LED	Světelná dioda (light-emitting diode)
Obr.	Obrázek
Pozn.	poznámka
PN	positive, negative
SSZ	světelné signalizační zařízení
Tc	Teplota chromatičnosti
ULR	Světelný tok vyzářený do horního poloprostoru
UV	Ultrafialové
VO	Veřejné osvětlení

Seznam ilustrací a seznam tabulek

Číslo ilustrace	Název ilustrace	Číslo stránky
1.1	Halogenidová žárovka a příklad jejího spektra	14
1.2	Vysokotlaká sodíková výbojka a příklad jejího spektra	15
1.3	Světelná dioda a příklad jejího spektra	17
1.4	Kompaktní zářivka a příklad jejího spektra	18
1.5	Vysokotlaká rtuťová výbojka a příklad jejího spektra	18
1.6	Nízkotlaká sodíková výbojka a příklad jejího spektra	19
1.7	Sodíko-xenonová výbojka	20
2.1	Rozmístění výpočtových bodů	22
2.2	Poloha výpočtových bodů v jízdním pruhu	24
2.3	b/h křivka a geometrické uspořádání	25
2.4	párová osvětlovací soustava	25
3.1	jednosměrný provoz-jednosměrné osvětlení	28
3.2	jednosměrný provoz-oboustranné osvětlení	28
3.3	obousměrný provoz (nejčastější případ)	29
3.4	osvětlení přechodu s pozitivním kontrastem	30
3.5	osvětlení přechodu s negativním kontrastem	31
4.1	průsvětlení přechodu pro chodce	32
4.2	situační řešení přechodů	33
4.3	popis měřeného přechodu	36
5.1	Umělé světlo ve venkovním prostředí	40
5.2	Popis rušivého světla venkovních osvětlovacích soustav	41
5.3	Poloha svítidel v měřené oblasti	42
5.4	Křivka svítivosti svítidla	44
5.5	Technické parametry svítidla	45
5.6	Svítivost svítidla v 30° roviny C180 přepočtená pomocí světelného toku světelného zdroje (13,5 klm)	45
5.7	Svítivost svítidla v 50° roviny C180 přepočtená pomocí světelného toku světelného zdroje (13,5 klm)	46

Číslo tabulky	Název tabulky	Číslo stránky
4.1	Udržovaná svislá průměrná osvětlenost	34
4.2	Svítlidla a světelné zdroje měřené osvětlovací soustavy	37
4.3	Světelné parametry přechodu pro danou světelnou třídu komunikace dle TKP	38
4.4	Výsledky měření vertikální a horizontální osvětlenosti v zapnutém stavu	38
4.5	výsledky měření vertikální a horizontální osvětlenosti ve vypnutém stavu	38
5.1	hodnoty světelně technických parametrů pro kontrolu rušivého světla	41
5.2	Svítlidla a světelné zdroje měřené osvětlovací soustavy	42
5.3	Vyhodnocení měření rušivého světla při vypnutém a zapnutém osvětlení přechodu	44

Úvod

Veřejné osvětlení má velký dopad na životní prostředí a může působit i rušivě. Pojem rušivé světlo je obecně jakékoli světlo, vytvořené člověkem, s nežádoucím vedlejšími účinky (oslnění, pronikání světla do obytného prostoru, únik světelného toku do horního poloprostoru, osvětlení toho, co není žádoucí).

Rušivým světlem se v České republice zabývá norma ČSN EN 13201-2, která definuje na základě fotometrických požadavků třídy osvětlení pro osvětlování pozemních komunikací se zaměřením na zrakové potřeby uživatelů komunikace a zohledňuje ekologická hlediska tohoto osvětlení. Podrobněji se rušivému světlu věnují normy ČSN 1264-2 Světlo a osvětlování - Osvětlování pracovních prostorů - Část 2: Venkovní pracovní prostory a ČSN EN 12193 Světlo a osvětlení - Osvětlení sportovišť.

Aplikace těchto norem se do praxe zavádějí ve velmi omezené míře.

Norma zavádí tzv. environmentální zóny, které jsou čtyři. Do první zóny E1 patří oblasti národních parků a chráněných území. Můžeme tedy říci, že se jedná o velmi tmavé oblasti. Do zóny E2 můžeme zařadit málo osvětlené oblasti, což jsou venkovské obytné oblasti. Do zóny E3 lze zařadit středně světlé oblasti, jako jsou obytná nebo průmyslová předměstí. Do poslední zóny E4 lze zařadit velmi světlé oblasti, jako jsou centra měst a obchodní zóny.

Cílem bakalářské práce je vysvětlení pojmů a měření rušivého světla vyvolávajícího negativní environmentální vlivy na fasádu stěžujícího si majitele domu na ulici 17. listopadu v obci Bílovec a zároveň zjištění přínosu osvětlení přechodu pro chodce u tohoto domu.

1 Svítidla a světelné zdroje používané ve VO

1.1 Světelné zdroje

Světelné zdroje jsou hlavním prvkem osvětlovacích soustav. Z umělých zdrojů světla mají největší význam zdroje napájené elektrickou energií, to jsou elektrické světelné zdroje. Na správném výběru světelného zdroje závisí, jak kvalitní a úsporná bude celá osvětlovací soustava.

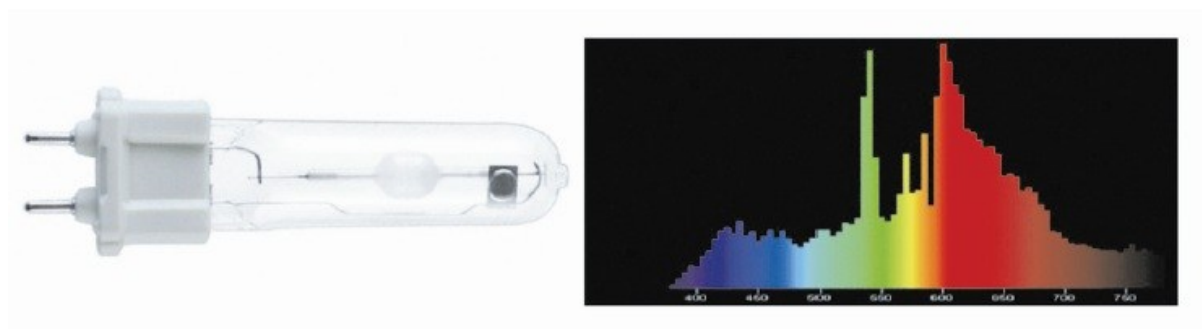
V dnešní době se používají ve veřejném osvětlení hlavně halogenidové výbojky, vysokotlaké sodíkové výbojky, zejména pak světelné LED – diody.

1.2 Halogenidové výbojky

Viditelné záření se vytváří v párách rtuti, ale především zářením produktů halogenidů (90 % záření), to je sloučenin halových prvků například s thaliem, galiem, sodíkem apod. Toto vede ke zvětšení indexu podání barev až na $R_a = 90$ a měrného výkonu až $130 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. Venkovní baňka je z borosilikátového skla. Halogenidové výbojky fungují při venkovních teplotách - 20 až 60 °C. Halogenidové výbojky mají dobu života až 15 000 hod.

Výbojky se vyrábějí s různými tvary baňky a typy patice. Dodávány jsou s měrným výkonem 67 až 130 lm/W a s příkonem 35 až 2000 W.

Výbojka dosahuje na jmenovité parametry asi za 10 min., podle velikosti příkonu. Možností využití je hodně, ale v praxi je ovlivňuje vyšší pořizovací cena. Používají se zejména k osvětlení nebezpečných míst, hlavně přechodů, protože vyzařují bílou barvu. Dále se pak výbojky s malým příkonem uplatňují při osvětlování výkladů a obchodních prostor a muzeí. Větší příkony se používají k osvětlení výstavišť, sportovišť, dopravních uzlů a v průmyslu. Mají větší světelný tok podání barev, než je tomu u sodíkových výbojek.



Obrázek 1.1: Halogenidová žárovka a příklad jejího spektra

1.3 Vysokotlaké sodíkové výbojky

Výboji v parách sodíku se dosáhne vlnové délky 589 až 589,6 nm, což odpovídá žluté části viditelného spektra. Výbojový prostor u těchto zdrojů musí být zhotoven z polykrystalického nebo monokrystalického oxidu hlinitého (syntetický korund). Při zvětšujícím se tlaku par sodíku dochází k výraznému rozšíření spektrálního vyzařování a k vytvoření silného spojitého záření, přičemž je zároveň absorbováno záření rezonanční.

S rostoucím tlakem se zvyšuje vyzařování do dlouhovlnné části spektra, spektrum záření je bohatší, což je důsledek lepšího barevného podání osvětlovaných předmětů. Tento druh výboje je používán u moderních vysokotlakých sodíkových výbojek, které se zřetelně uplatnily hlavně ve veřejném osvětlení. Sortiment vysokotlakých sodíkových výbojek je velmi rozsáhlý. Příkony se pohybují v rozmezí 50 až 1000 W a měrný výkon v rozmezí 70 až 150 lm/W. U těchto zdrojů se index podání barev pohybuje kolem 25.

Výbojka neumožňuje teplý znovu zápal a lze ji rozsvítit až po jejím vychladnutí. Jmenovitého světelného toku dosáhne až po cca 5 minutách. Nedochází ke kolísání světelného toku v oblasti venkovních teplot, což je u těchto výbojek velká výhoda. Vysokotlaké sodíkové výbojky je nutné provozovat v obvodu s tlumivkou a patřičným zapalovacím zařízením. Při dodržování provozních podmínek (povoleno kolísání napětí menší než 5 %, správně dimenzované tlumivky) mohou mít výbojky předních výrobců životnost až 40 000 hod. Ukončení života je způsobeno postupným nárůstem napětí na výboji. Při překročení určitého poměru tohoto napětí vzhledem k napájecímu napětí sítě, výboj zhasne. Po vychladnutí se výboj opět zapálí a celý proces se opakuje. Periodické zhasínání výbojek je příznakem konce životnosti a výbojka se musí vyměnit.

Vysokotlaké sodíkové výbojky přinesly do osvětlovací praxe významné úspory elektrické energie, také proto je ve veřejném osvětlení podíl vysokotlakých sodíkových výbojek dominantní. Vysokotlaké sodíkové výbojky mají ve veřejném osvětlení všestranné použití: jsou vhodné pro osvětlování veškerých komunikací, pěších zón i osvětlování fasád objektů. Jistou nevýhodou těchto zdrojů je horší barevné podání osvětlovaných předmětů. Pro veřejné osvětlení se používají vysokotlaké sodíkové výbojky nízkých příkonů. V obcích 50 – 70 W, ve městech do 150 W, na velkých komunikacích 150 - 250 W. Vyšší příkony se můžou použít na osvětlování fasád budov a vnitřních i venkovních skladovacích ploch bez trvalého pobytu osob (250 – 1 000 W). Nedoporučují se pro osvětlování parků a veřejné zeleně.



Obrázek 1.2: Vysokotlaká sodíková výbojka a příklad jejího spektra

1.4 Světelné diody LED

Světelné diody LED se v poslední době používají ve stále větším rozsahu ve všech oblastech osvětlovací techniky. Za své rozšíření vděčí hlavně zvětšujícímu se měrnému výkonu. Světelné diody představují elektronický prvek, který vyzařuje světelné záření při průchodu proudu polovodičovým přechodem. Využívá tedy odlišný fyzikální princip než žárovky nebo výbojky, a má hodně vlastností, kterými se od předchozích klasických zdrojů světla odlišuje. Polovodičový přechod vyzařuje velmi úzké spektrum. Primární záření je v podstatě monochromatické. LED jsou již v dnešní době vysoce účinný světelný zdroj, který se prosazuje místo konvenčních světelných zdrojů. LED technologie má obrovský potenciál rozvoje do budoucna.

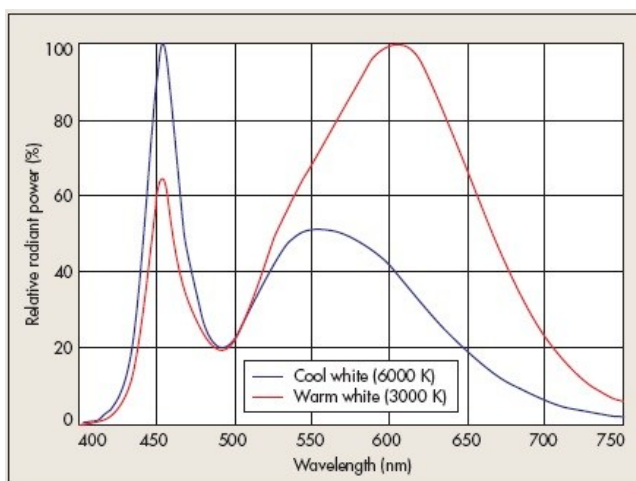
Bílé světlo pomocí LED je možné generovat principiálně dvěma způsoby: mísení monochromatických LED – bílého světla lze dosáhnout spojením několika komplementárních vlnových délek určitého výkonového poměru. Mísit lze v závislosti na požadavcích na kvalitu světla. Sloučením dvou vlnových délek vznikne dichromatický zdroj. Když se propojí tři monochromatické LED zářiče (např. RGB), vytvoří se trichromatický světelný zdroj. Kvalita barevného podání výsledného bílého světla roste se zvyšováním počtu monochromatických složek.

Konvertor vlnových délek – při primárním vyzařování na kratší vlnové délce (nejčastěji v modré oblasti) je část světla absorbována v konvertorovém materiálu a opět vyzařena jako světelné záření s delší vlnovou délkou. Nejčastěji se používají konvertory vlnových délek na bázi fosforu.

Typickým příkladem je bílá LED založená na modrém LED čipu a fosforovém konvertoru. Záření ve viditelné oblasti, jenž je vyzařováno z polovodiče, je modré barvy. Část světla je dodávána přímo k pozorovateli a část krátkovlnných fotonů je v prostoru zapouzdření (fosforová vrstva) absorbována a znovu emitována s delší vlnovou délkou ve žlutém spektru. Vyzařované spektrum se skládá z luminiscence modrého světla a fosforescence světla žlutého.

Nastavováním vzájemného poměru luminiscence a fosforescence lze optimalizovat nejen náhradní teplotu chromatičnosti, ale také měrný výkon (se vzrůstající TC klesá) a index podání barev (s klesající TC roste). Po skončení vývoje se dá očekávat, že měrné výkony těchto světelných zdrojů se budou pohybovat až nad oblastí 200 lm/W. Kvůli minimálnímu výskytu červené barvy ve vyzařovaném spektru se jako jeden z hlavních problémů LED jeví dosažení vysokého indexu barev. Dnešní technologie ale umožňují dosažení Ra většího než 90.

Největším problémem LED je v současnosti odvod tepla z oblasti PN přechodu. Kvůli tomu se pohybují jednotlivé zdroje v oblasti příkonů jednotek wattů. Další problém spojený s odvodem tepla z PN přechodu je snižování světelného toku a životnosti se zvyšující se teplotou přechodu. Na druhou stranu mají LED oproti klasickým světelným zdrojům nezanedbatelné výhody v jednodušším směřování a rychlejším náběhu světelného toku, mechanické odolnosti a nezávislosti životnosti na spínání a stmívání. K napájení se používají malá stejnosměrná napětí. LED se řídí proudem kvůli své Volt-Ampérové charakteristice.



Obrázek 1.3: Světelná dioda a příklad jejího spektra

1.5 Kompaktní zářivky

Zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojky, které vydávají záření v ultrafialové oblasti. Poté se musí toto záření transformovat na viditelné záření pomocí luminoforu. Princip funkce zářivek: ve skleněné trubici jsou vlivem elektrického pole mezi elektrodami vybudeny páry rtuti, ve kterých dochází k emisi neviditelného UV záření. Speciální látka, luminofor, nanesená na vnitřním povrchu skleněné trubice přeměňuje neviditelné UV záření na světlo. Volbou luminoforu je možné ovlivnit spektrum světla vyzařované zářivkou.

Zářivky se, tak jako všechny výbojky, neobejdou bez předřadných přístrojů. Po zapálení výboje je napětí na zářivce menší než síťové napětí. Když se použije magnetický předřadník, tak se na tlumivce vytvoří úbytek napětí, který omezí proud tekoucí zářivkou. V případě použití elektronického předřadníku je proud zářivky ovládán elektronickými obvody.

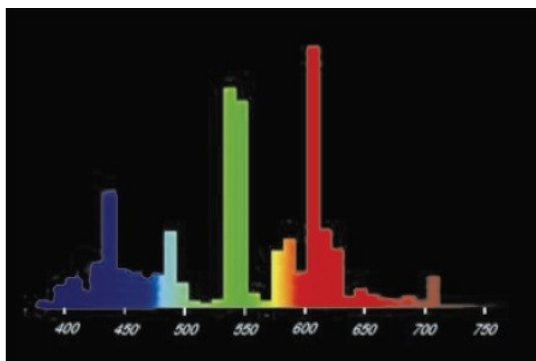
Doba života zářivek je silně ovlivněna počtem zapnutí. Nehodí se proto tam, kde dochází k častému zapínání a vypínání. Doba života zářivek se rovněž mění podle způsobu provozu. Při provozu s klasickým předřadníkem se životnost zářivky pohybuje okolo 10 000 h, zatímco při provozu s elektronickým předřadníkem se pohybuje okolo 18 000 h.

Na rozdíl od žárovek, u kterých světelný tok dosahuje jmenovité hodnoty téměř okamžitě, dosahují zářivky jmenovité hodnoty až po cca 3 min provozu. Zářivky lze pomocí elektronického předřadníku stmívat v rozsahu 1 - 100 % světelného toku.

Zářivky se vyrábějí v širokém spektru náhradních teplot chromatičnosti od 2 700 do 8 000 K a s indexem podání barev 60 - 98. Existují i speciální zářivky barevné, s prodlouženou servisní životností až 75 000 h, nebo s upraveným spektrem pro pěstování rostlin, chov zvířat a další.

Kompaktní zářivky mají příkon mezi 5 až 55 W a měrný světelný výkon 50 až 87 lm/W. Ve veřejném osvětlení je najdeme především v parcích, pěších zónách, či na přechodech. Jejich velkou

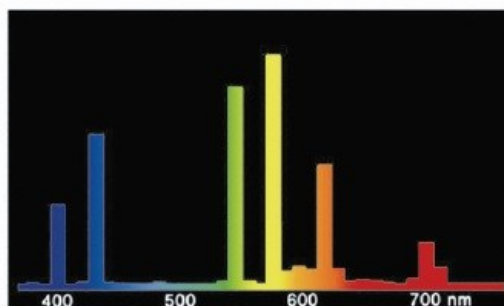
nevýhodou je velmi obtížné usměrnění světelného toku a také velká teplotní závislost, pro chladné klima je speciální řada zářivek, zaručujících spolehlivý provoz při teplotách do minus 30 °C.



Obrázek 1.4: Kompaktní zářivka a příklad jejího spektra

1.6 Rtuťové vysokotlaké výbojky

Viditelné záření vzniká u těchto zdrojů obloukovým výbojem v parách rtuti ve výbojové trubici z křemenného skla. Vysokotlaké rtuťové výbojky vyzařují přímo ve viditelné oblasti asi 15 % přivedené energie a jejich světlo je modrobílé až modrozelené. Záření UV, hlavně na vlnové délce 365 nm, je nutné pomocí luminoforu transformovat do viditelné oblasti.



Obrázek 1.5: Vysokotlaká rtuťová výbojka a příklad jejího spektra

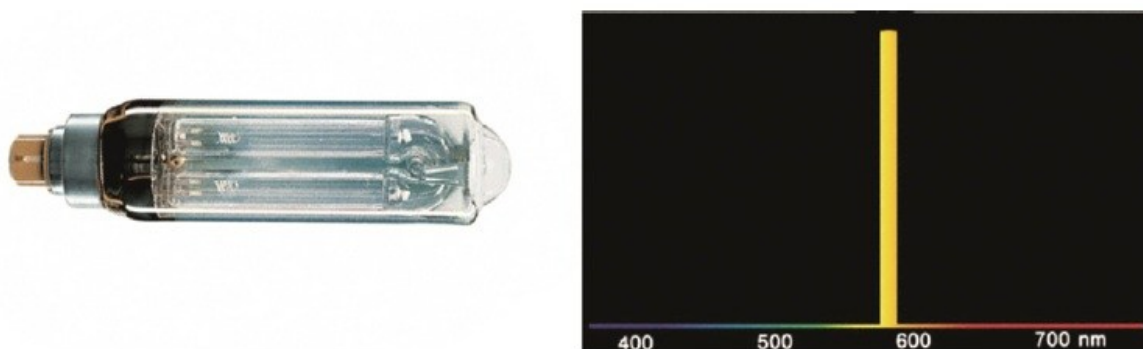
Červená složka světla chybí, z tohoto důvodu se nanáší na vnitřní stěnu venkovní baňky ortofosfátový luminofor pro zabezpečení transformace zbylého UV záření do červené oblasti spektra. K ustálení výboje rtuťových výbojek dochází až po 3 - 5 minutách. Po přerušení výboje dojde k opětovnému znovu zapálení až po 7 minutách. Výhodou těchto výbojek je malý pokles světelného toku během života, odolnost proti změnám teploty a otřesům. Životnost je 12 000 až 15 000 h, index podání barev $R_a = 60$, měrný výkon 36 až 80 lm/W. Výbojky se nehodí k osvětlování vnitřních prostorů z důvodu nízkého R_a a delší doby opětovného znovu zapálení.

Z osvětlování průmyslových prostorů, ulic a sportovišť je vytlačily vysokotlaké sodíkové výbojky s vyšším měrným výkonem. Respektive jsou již nahrazeny ve všech oblastech jejich použití jinými světelnými zdroji (kvalitnějšími, efektivnějšími). V nových osvětlovacích soustavách se již

nenasazují. V současné době se ještě používají směšové výbojky, světelné zdroje kombinující žárovku s rtuťovou výbojkou, které nepotřebují předřadnou tlumivku. Jsou na trhu v širokém rozsahu světelného výkonu, světelného toku, životnosti a podání barev, s příkonem 50 až 1000 W. Používají se k osvětlení pěších zón, zahrad, parků, foyer, interiérů, vedlejších komunikací a v prostoru veřejné zeleně.

1.7 Sodíkové nízkotlaké výbojky

U nízkotlakých sodíkových výbojek vzniká primární výboj, ve výbojové trubici vyrobené z boritého skla, v plynném argonu a neonu, výboj má klasickou neonovou barvu. Až po určité době, kdy sodík přejde do plynného skupenství, se vyzáří monochromatické záření v pásmu vlnových délek 589 a 589,6 nm - ve žluté oblasti spektra.



Obrázek 1.6: Nízkotlaká sodíková výbojka a příklad jejího spektra

Záření sodíkové výbojky je v blízkosti maxima spektrální citlivosti lidského oka, dodávány jsou s příkonem 18 až 185 W a měrným výkonem 100 až 203 lm/W. Dosahují vysoké účinnosti, poskytují však pouze monochromatické světlo ($R_a = 0$). Vyžadují stabilizovaný zdroj napájení a přenosovou soustavu, bez ztrát v el. vedení, životnost výbojky dosahuje až 24 000 h.

Přes značný pokrok a zlepšení jejich užitných parametrů se jejich použití, v důsledku velmi špatného podání barev, omezilo na osvětlení silnic a dálnic. Jejich použití je omezeno pouze na nově budované sítě pro osvětlování výpadevých silnic a dálnic a vodních cest. Nevýhody jako podobné jako u kompaktních zářivek: nízký jas, velký rozptyl a závislost na teplotě.

1.8 Sodíko-xenonové výbojky

Sodíko-xenonové výbojky jsou vysokotlaké výbojky používané dnes hlavně v automobilových světlometech nebo v projekční a osvětlovací technice.



Obrázek 1.7: Sodíko-xenonová výbojka

Pro jejich připojení je potřeba speciální měnič. Výbojky pro osvětlování v osvětlovací technice bývají v trubicovém provedení, mohou mít příkon až 10 kW a jsou chlazeny vzduchem nebo vodou. Náhradní teplota chromatičnosti je nejčastěji v rozmezí 4 000 – 12 000 K a spektrum vyzařování je podobné dennímu světlu, Vyrábí se s příkony 50 až 80 W, s měrným výkonem 65 až 75 lm/W a životností cca 2 500 h.

Jsou určeny speciálně pro dekorativní venkovní osvětlení. Podání barev odpovídá rtuťovým výbojkám (blízké dennímu světlu) a je tudíž výrazně příznivější než u sodíkových výbojek. Výbojky nepropouštějí žádné UV záření, proto nelákají hmyz, čímž se redukuje znečištění svítidel. Jejich použití je velmi široké, především při osvětlení historických center měst, pěších zón a parků.

1.9 Svítidla ve veřejném osvětlení

Svítidla tvoří základní prvky osvětlovacích soustav. Skládají se z části světelně činných a částí konstrukčních. Světelně činné části ve svítidle slouží k úpravě vyzařovacího diagramu svítidla, k omezení oslnění, snížení jasu. Pro osvětlení komunikací by světelný tok měl směřovat do šířky po obou stranách svítidla, resp. do jedné strany svítidla u přechodů pro chodce. Konstrukční části svítidla slouží k upevnění zdroje, k upevnění světelně činných částí, ke krytí zdrojů i světelně činných částí před vniknutím cizích předmětů a vody, musí vyhovovat z hlediska ochrany před nebezpečným dotykovým napětím. Svítidla musí splňovat podmínky jednoduché a snadné montáže, jednoduché údržby, dlouhé životnosti a spolehlivosti.

Požadavky na svítidla VO:

1. světelně technické vlastnosti

- vysoká světelná účinnost tj. 80 - 90 %,
- usměrnění světla pouze do požadovaných směrů,
- zábrana oslnění se vyžaduje a je předepsána u vyšších tříd osvětlení v závislosti na zařazení příslušné komunikace do třídy osvětlení,
- stálost světelně technických vlastností,

2. konstrukční řešení

- jednoduchá montáž,

- přístup k světelnému zdroji, svorkovnici, předřadníku apod. má být nekomplikovaný a bez použití speciálního nářadí,
- doba života svítidla se posuzuje podle doby stálosti světelně-technických vlastností,
- možnost recyklace použitých materiálů,

3. tvarové a barevné řešení

- soulad s architektonickým řešením osvětlovaného prostoru (historická centra měst, apod.).

Požadavky na svítidla dle ČSN

Podle ochrany před nebezpečným dotykovým napětím lze dle normy ČSN EN 33 2000-4-41 rozlišit svítidla třídy 0, I, II a III

- Svítidlo třídy 0 má pouze základní izolaci, nemá prostředky na připojení ochranného vodiče.
- Třída I znamená, že svítidlo má prostředek pro připojení vodivých částí na ochranný vodič.
- Svítidlo třídy II obsahuje jako ochranu před nebezpečným dotykem dvojitou nebo zesílenou izolaci.
- Třída III označuje svítidla na bezpečné napětí.

Svítidla je možno rozdělit i podle krytí, dle normy ČSN EN 60 529, podle níž se druh krytí svítidla označuje zkratkou IP (International Protection) a dvojčíslím. První číslice (od 0 do 6) vyjadřuje ochranu před nebezpečným dotykem živých nebo pohybujících se částí a před vniknutím cizích předmětů, druhá (od 0 do 8) ochranu před vniknutím vody. Výrobci ze zkušenosti vyrábí svítidla pro veřejné osvětlení v krytí IP 44 až IP 66. [4]

2 VÝPOČTOVÉ METODY PRO NÁVRHY VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ

Navrhování a projektování osvětlení venkovních prostorů je spojeno s celou řadou světelně technických výpočtů. Jejich cílem je stanovit výkon a potřebný počet světelných zdrojů, respektive svítidel, tedy celkový instalovaný příkon pro osvětlení daného prostoru, a v navržené osvětlovací soustavě ověřit dodržení ukazatelů jakosti osvětlení.

Metody základních světelně technických výpočtů lze rozdělit do dvou skupin, a to na metody tokové, které pracují s místně průměrnými hodnotami světelně technických veličin, a na metody bodové.

Do první skupiny metod patří, vedle předběžného stanovení příkonu osvětlovací soustavy využitím hodnot měrných příkonů, zejména toková metoda světelně technických výpočtů. U tokové metody se vychází z požadované průměrné hladiny celkové osvětlenosti obvykle vodorovné výpočtové roviny. K tomuto účelu se stanovuje potřebný světelný tok zdrojů a příkon osvětlovací soustavy, z téhož vyplývá i počet světelných zdrojů a svítidel.

Bodovou metodou výpočtu se zjišťují hodnoty ukazatelů jakosti osvětlení (nejčastěji hodnoty osvětlenosti libovolně natočených pracovních rovin, či hodnoty střední kulové, popřípadě válcové osvětlenosti v různých bodech osvětlovaného prostoru), stanovují se maximální a minimální hodnoty sledovaných veličin, i odpovídající hodnoty jejich rovnoměrnosti. Při běžných výpočtech integrálních charakteristik bodovou metodou se vliv odražených světelných toků obvykle neuvažuje, nebo se respektuje jen přibližně.

Ani toková, ani bodová metoda výpočtu není metodou univerzální. Obě metody mají svá určitá omezení a předpoklady správného použití. Tyto okolnosti musí brát v úvahu projektant při volbě výpočtové metody. Tokové metody se většinou užívá k výpočtu průměrné hodnoty osvětlenosti v soustavě celkového osvětlení. Odstupňované osvětlení vyžaduje pak obvykle řešení bodovou metodou.

S místně průměrnými hodnotami světelně technických veličin, zejména osvětleností a jasů, se pracuje při návrhu osvětlovacích soustav tokovou metodou. Průměrné hodnoty veličin odpovídají úhrnným světelným tokům, dopadajícím na uvažovanou výpočtovou rovinu v osvětlovaném prostoru.

2.1 Bodové metody

Bodové metody umožňují výpočet osvětlenosti v kontrolních místech (bodech) libovolně natočených pracovních rovin, světelný vektor a střední kulovou osvětlenost. Při běžných bodových výpočtech se vliv odražených světelných toků nebere v úvahu.

2.1.1 Aplikace ve venkovním osvětlení

2.1.1.1 *Bodová metoda výpočtu osvětlenosti vozovky*

Bodovou metodou se v určitém kontrolním místě nejčastěji stanovují hodnoty integrálních charakteristik, odpovídající světelným tokům, dopadajícím do okolí kontrolního bodu přímo z uvažovaných svítidel či zdrojů, to značí tzv. přímé složky charakteristik. V poli jednotlivých svítidel se

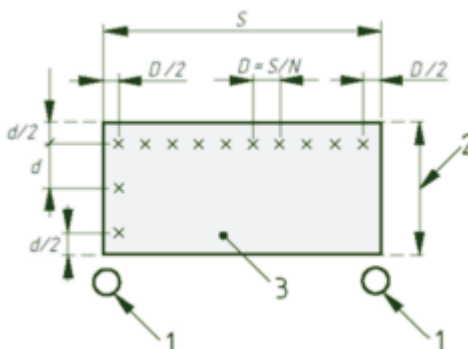
počítají hodnoty osvětlenosti, a to v bodech různých pracovních rovin. Zde s výhodou používáme bodovou metodu.

Vodorovná osvětlenost v bodě se vypočítá pomocí následujícího vzorce nebo jeho matematického ekvivalentu:

$$E = \frac{I \cdot \cos^3 \varepsilon \cdot \Phi \cdot MF}{H^2} \quad (2.1)$$

- E je udržovaná vodorovná osvětlenost v bodě,
- I svítivost ve směru k bodu,
- ε úhel dopadu světelného paprsku do bodu,
- H montážní výška svítidla,
- Φ počáteční světelný tok všech zdrojů ve svítidle,
- MF součin činitele stárnutí světelného zdroje a udržovacího činitele svítidla.

Kontrolní místa na komunikacích se rozmisťují dle ČSN EN 13201 tak, aby pokrývala celou plochu jednoho prvku osvětlovací soustavy. Přitom v příčném směru uvažujeme tři kontrolní body v každém jízdním pruhu, avšak s podmínkou, že rozteč mezi body nesmí být vyšší jak 1,5 m v podélném směru, při rozteči světelných míst do 30 m je dostačující počítat s deseti kontrolními místy. Je-li rozteč svítidel větší než 30 m, smí být vzdálenost mezi sousedními kontrolními body nejvýše 3 m.



Obrázek 2.1: Rozmístění výpočtových bodů

Kde 1 – svítidlo; 2 – výpočtové pole šířka relevantní oblasti W_r ; 3 – výpočtové pole

Umístění výpočtových bodů pro měření osvětlenosti

Výpočtové body musí být rovnoměrně rozloženy ve výpočtovém poli obr. 2.1 a jejich počet musí být volen následovně:

a) v podélném směru

$$D = \frac{S}{N} \quad (2.2)$$

- D rozteč mezi body v podélném směru, v metrech,
- S rozteč mezi svítidly téže řady, v metrech,

- N počet výpočtových bodů v podélném směru nabývajících těchto hodnot:

pro $S \leq 30$ m, $N = 10$

pro $S > 30$ m, nejmenší celé číslo splňující podmínku $D \leq 3$ m.

První řada výpočtových bodů je umístěna ve vzdálenosti $D/2$ (v metrech) za prvním svítidlem (z pohledu pozorovatele).

b) v příčném směru

$$\text{zde } d = \frac{Wr}{N} \quad (2.3)$$

- d je rozteč mezi body v příčném směru měřená v metrech,
- Wr šířka jízdního pruhu v metrech,
- N počet bodů v příčném směru, jehož hodnota je větší nebo rovna 3, a je nejmenším celým číslem, které dává $d \leq 1,5$ m.

Vzdálenost bodů od okrajů relevantní oblasti je $D/2$ v podélném směru a $d/2$ v příčném směru, podle obr. 2.1

2.1.1.2 Bodová metoda výpočtu jasu vozovky

Při kontrolním výpočtu jasu povrchu komunikace se postupuje podle zmíněné normy, kde jsou v souladu s doporučením CIE, odrazné vlastnosti povrchů vozovky popsány redukovaným součinitelem jasu r , jehož hodnoty jsou v citované normě tabelovány v závislosti na typu povrchu vozovky, a na vzájemném umístění pozorovatele, svítidla a kontrolního místa. Hledaná hodnota jasu povrchu komunikace se v daném bodě vypočte tak, že se poměr svítivosti svítidla ve směru ke kontrolnímu bodu a čtverce výšky zavěšení svítidla, vynásobí hodnotou zmíněného redukovaného součinitele jasu r .

Jas v bodě lze spočítat pomocí následujícího vzorce nebo jeho matematického ekvivalentu:

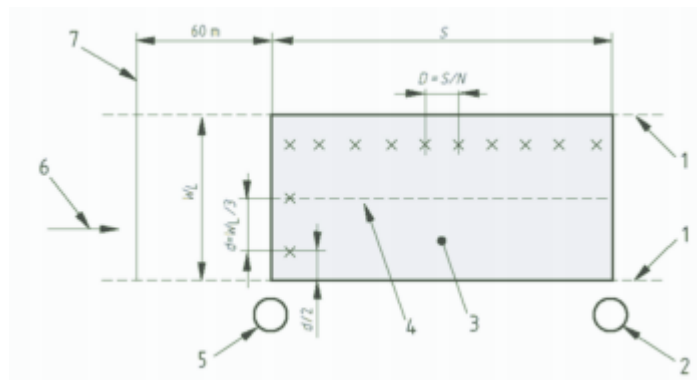
$$L = \frac{I \cdot r \cdot \phi \cdot MF \cdot 10^{-4}}{H^2} \quad (2.4)$$

- L jas,
- I svítivost ve směru,
- r redukovaný koeficient jasu,
- Φ počáteční světelný tok všech zdrojů ve svítidle,
- MF součin činitele stárnutí světelného zdroje a udržovacího činitele svítidla,
- H montážní výška svítidla.

Pole pro výpočet jasu je stanoveno v podélném směru relevantní oblasti, kde leží výpočtové pole mezi dvěma svítidly téže řady, přičemž první svítidlo se nachází ve vzdálenosti 60 m před pozorovatelem.

Rozmístění výpočtových bodů je stejné jako u výpočtu osvětlenosti. Je zde však navíc definována poloha pozorovatele (oko pozorovatele ve výšce 1,5 m nad úrovní povrchu komunikace). V příčném směru se pozorovatel umísťuje postupně doprostřed každého jízdního pruhu.

Rozmístění výpočtových bodů:



Obrázek 2.2: Poloha výpočtových bodů v jízdním pruhu

Legenda: 1 – okraj jízdního pruhu; 2 – poslední svítidlo ve výpočtovém poli; 3 – výpočtové pole; 4 – osa jízdního pruhu; 5 – první svítidlo ve výpočtovém poli; 6 – směr pozorování; 7 – poloha pozorovatele v podélném směru; x – označuje řady výpočtových bodů v příčném a podélném směru.

Nejodlehlejší výpočtové body jsou vzdáleny $d/2$ od okrajů jízdního pruhu. Tam, kde je zpevněná krajnice a je požadována informace o jasů, musí být počet a rozteč výpočtových bodů stejné jako v případě jízdního pruhu.

2.2 Tokové metody

Toková metoda vychází z požadované průměrné hladiny osvětlenosti srovnávací roviny a stanovuje potřebný světelný tok zdrojů, jejich počet a také typ svítidla. Tokové metody respektují vliv mnohonásobných odrazů světelného toku. U venkovních prostor však nemají mnohonásobné odrazy význam.

2.2.1 Aplikace ve venkovním osvětlení

2.2.1.1 Toková metoda výpočtu průměrné osvětlenosti komunikace

Pro venkovní prostory lze tokovou metodou stanovit hodnoty světelných toků zdrojů, potřebných k zajištění požadované průměrné osvětlenosti na určité osvětlované ploše. V uličních osvětlovacích soustavách se k tomu využívá celkové účinnosti osvětlení η , která je rovna poměru tzv. užitečného světelného toku $\Phi_{u\check{z}}$, dopadajícího z uvažovaného svítidla na vozovku a chodníky, ke světelnému toku Φ_z zdrojů světla instalovaných ve svítidle.

$$\eta = \frac{\Phi_{u\check{z}}}{\Phi_z} = \eta_s \cdot \eta_v \quad (2.5)$$

Kde η – přepočtená účinnost svítidla ve venkovním prostoru,

η_s – účinnost svítidla,

η_v – činitel využití světelného toku svítidla v prostoru, tj. poměr užitečného toku,

$\Phi_{\text{už}}$ dopadajícího na vozovku a chodníky k toku vyzařovanému svítidlem.

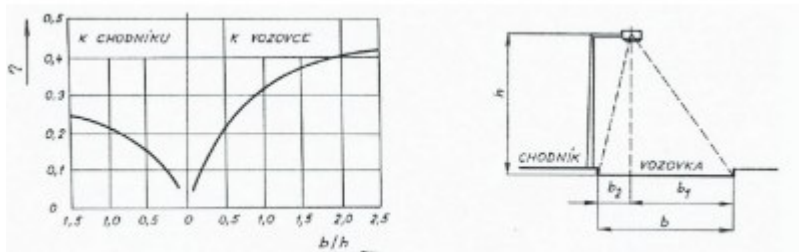
$$\Phi_{\text{sv}} [\eta_{\text{v}} = \Phi_{\text{už}} / \Phi_{\text{sv}}]$$

Udržovaná osvětlenost E_m , které se dosáhne na komunikaci o šířce b při rozteči I svítidel, se vypočte ze vztahu:

$$E_m = \frac{\Phi_z}{b \cdot l} \cdot z \cdot \eta \quad (2.6)$$

Kde Φ_z – jmenovitý světelný tok zdrojů světla, a to u jednostranné, osové a vystřídané soustavy v jednom svítidle, a u párové soustavy ve dvou svítidlech; z – udržovací činitel $z \geq 0,6$, b – šířka vozovky; l – délka úseku mezi stožáry.

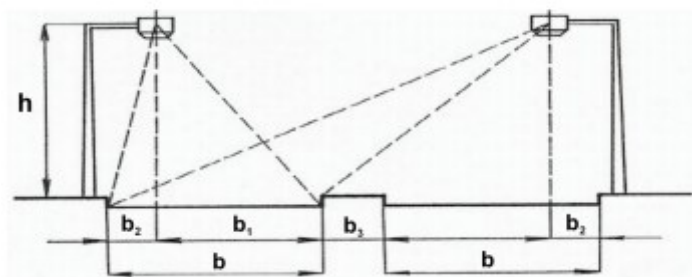
Celková účinnost osvětlení η je závislá nejen na účinnosti svítidla a na geometrických parametrech (výška zavěšení svítidla, šířka komunikace atd.), ale také na fotometrické ploše svítivosti svítidla. Většinou se celková účinnost osvětlení stanovuje pro dané svítidlo v závislosti na poměrné šířce b/h komunikace. Často se výsledky výpočtů uvádějí ve formě grafických závislostí $f(b/h)$ v patě stožáru nazývaných b/h křivkami.



Obrázek 2.3: b/h křivka a geometrické uspořádání

Při geometrickém uspořádání se postupuje tak, že se z křivky pro směr k vozovce odečte hodnota η_1 odpovídající poměrné šířce b_1/h , a z křivky pro směr k chodníku hodnota η_2 pro poměrnou šířku b_2/h . Výsledná účinnost η je v tomto případě dána součtem dílčích hodnot η_1 a η_2 , tj. $\eta = \eta_1 + \eta_2$. Dílčí šířky b_1 a b_2 se odečítají od svislice spuštěné ze svítidla na vozovku. Obdobně se postupuje i u směrové rozdělené komunikace se středním pásem o šířce b_3 osvětlené párovou soustavou.

Obrázek 2.4: Párová osvětlovací soustava



$Z(b/h)$ křivek použitého svítidla se stanoví hodnoty dílčích účinností η_1 pro b_1/h , η_2 pro b_2/h , η_3 pro $(b + b_3 + b_1)/h$ a η_4 pro $(b_3 + b_1)/h$. Výsledná účinnost se poté určí z výrazu $\eta = \eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4$.

Při předběžném návrhu osvětlení komunikace stanovíme z rovnice pro požadovanou osvětlenost E_m potřebný tok Φ_z zdrojů světla. Po korekci hodnoty toku Φ_z s ohledem na skutečně použité zdroje pak ověřujeme dodržení předepsané osvětlenosti. Bodovou metodou je dále nutno provést podrobnější kontrolu, zvláště s ohledem na dodržení požadované celkové a podélné rovnoměrnosti.

2.2.1.2 *Toková metoda výpočtu průměrného jasu vozovky*

Jas povrchu vozovky je závislý nejen na světelně technických parametrech svítidel, na jejich rozmístění a na volbě kontrolního místa, ale také na umístění pozorovatele a na světelně technických vlastnostech povrchu vozovky. Jsou-li k dispozici údaje charakterizující odrazné vlastnosti povrchu vozovky, je možno použít tokovou metodu i pro výpočet průměrného jasu vozovky. Obvykle se k tomu využívá součinitel jasu vozovky, který se označuje písmenem q , a je roven poměru jasu L (v daném bodě a v určitém směru) k hodnotě osvětlenosti E vodorovné roviny v uvažovaném kontrolním místě.

V mezinárodních doporučeních se uvádějí orientační průměrné hodnoty součinitele jasu q pro světelné povrchy vozovek, osvětlené cloněnými svítidly s širokou křivkou svítivosti $q_p = 0,1 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ a pro tmavé, stejně osvětlené vozovky $q_p = 0,07 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$. S průměrnými hodnotami q_p součinitele q lze počítat, pokud ve smíšeném odrazu od vozovky nepřeváží zrcadlová složka nad difúzní. Tomu vyhovují např. asfalto-betonové vozovky s hrubší strukturou. Využijeme-li průměrnou hodnotu součinitele q , můžeme určit místně průměrnou a časově minimální hodnotu udržované osvětlenosti E_m pro požadovanou místně průměrnou a časově minimální hodnotu udržovaného jasu L_m povrchu vozovky ze vztahu:

$$E_m = L_m \cdot \frac{1}{q_p} \quad (2.7)$$

Dále se již postupuje stejně jako u tokové metody výpočtu průměrné osvětlenosti komunikace, jak je uvedeno výše.

3 Konfliktní oblasti v dopravě

Konfliktní oblasti se vyskytují tam, kde se navzájem protínají přívaly vozidel, nebo vbíhají do oblastí frekventovaných na chodce, cyklisty a další uživatele komunikací, nebo tam, kde je změna v geometrii komunikace, jakou je třeba snížení jízdních pruhů, či zmenšení jízdního pruhu nebo šíře vozovky. Důsledkem existence konfliktních oblastí jsou zvýšené případné kolize mezi vozidly a chodci, cyklisty nebo dalšími uživateli komunikací, nebo mezi vozidly a pevnými objekty. Oblasti na parkování a mýtné stanice jsou rovněž považovány za konfliktní oblasti.

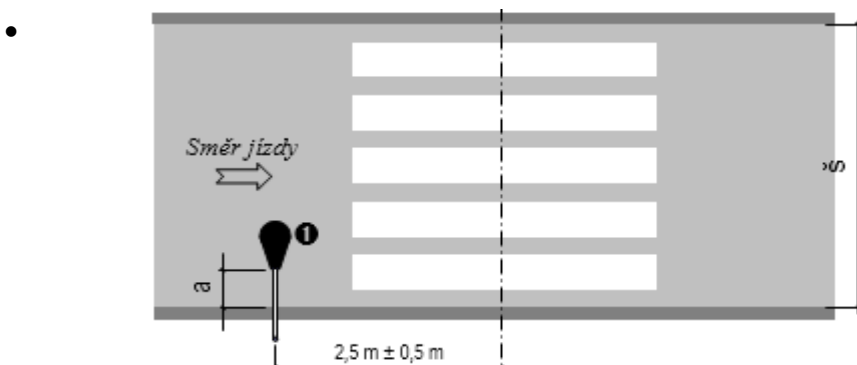
3.1 Osvětlení přechodů pro chodce

V některých případech vyžadují přechody pro chodce zvláštní pozornost. Lze-li běžnou osvětlovací soustavou zajistit dostačující vysokou úroveň jasu povrchu komunikace v místě přechodu, je možné vhodným umístěním obvyklých svítidel pro pozemní komunikace dosáhnout dostatečného negativního kontrastu, při kterém je chodec na přechodu viděn jako tmavá silueta na světlém pozadí. Nelze vyloučit ani pozitivní kontrast. Místní osvětlení přidavnými svítidly se používá v situaci, kdy chceme přímo osvětlit chodce na a u přechodu, a upozornit řidiče motorových vozidel na přítomnost přechodu.

Typ přidavných svítidel a jejich umístění a orientace vůči přechodu pro chodce má být zvolen tak, aby bylo dosaženo pozitivního kontrastu, a zároveň, aby nedošlo k nadměrnému oslnění řidičů. Jedním z řešení je umístění svítidel v malé vzdálenosti před přechodem z pohledu řidičů příjezdících motorových vozidel tak, aby chodce osvětlovala ze směru příjezdících vozidel. V případě komunikace s obousměrným provozem je potřeba svítidla umístit před přechod v každém z obou směrů jízdy na té straně komunikace, po níž vozidla k přechodu příježdějí. Vhodná jsou svítidla s asymetrickým rozložením svítivosti.

Místní osvětlení má zaručit dostatečné osvětlení chodců ze strany příjezdících vozidel v celé oblasti přechodu. Svislá osvětlenost chodců má být zřetelně větší než vodorovná osvětlenost přilehlé komunikace, zajištěná běžnou osvětlovací soustavou komunikace. V oblastech na obou koncích, kde chodci čekají před vstupem do jízdního pásu, je rovněž nutno zajistit dostatečnou osvětlenost. Osvětlení omezené na oblast přechodu pro chodce, a na úzký pás kolem něj, vyvolává divadelní efekt, který pomáhá upoutat pozornost.

Příklad řešení místního osvětlení přechodu pro chodce je znázorněn na následujících obrázcích:



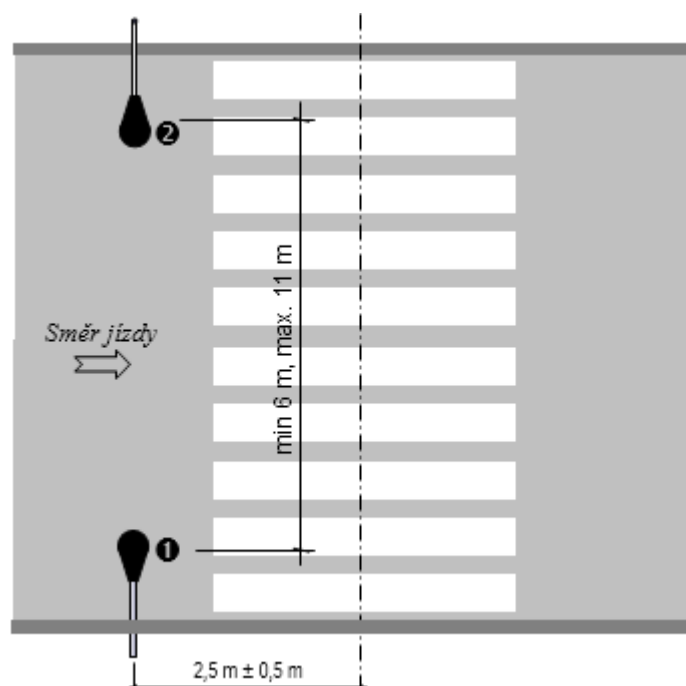
Obrázek 3.1: Jednosměrný provoz-jednostranné osvětlení

$a = 0,5$ m pro šířku silnice $\bar{s} = 3 - 4$ m

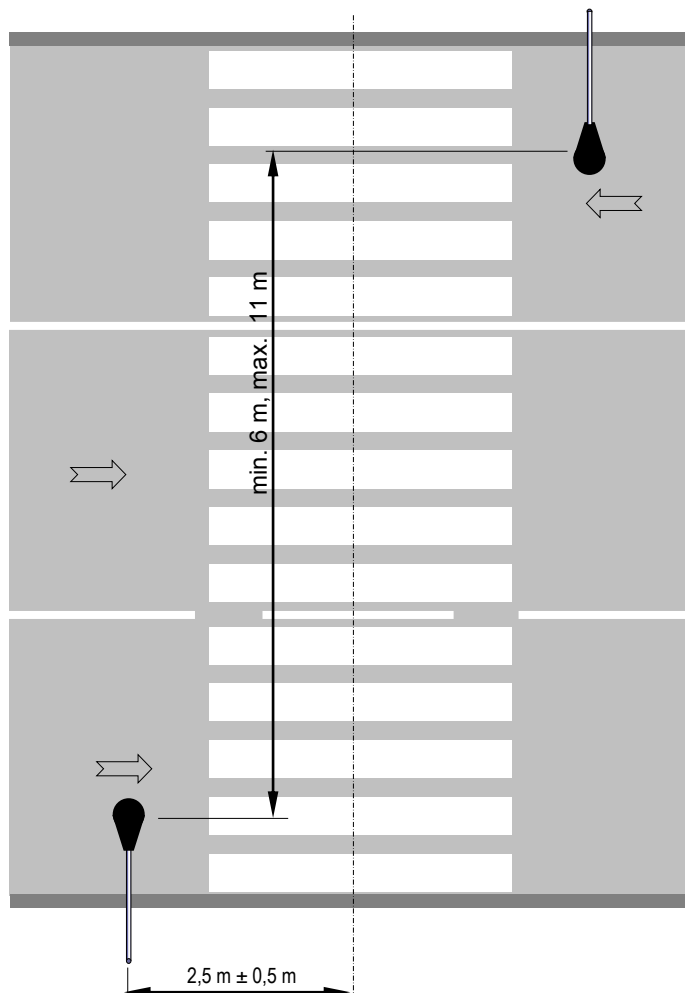
$a = 1,0$ m pro šířku silnice $\bar{s} = 4 - 5$ m

$a = 1,5$ m pro šířku silnice $\bar{s} = 5 - 6$ m

$a = 2,0$ m pro šířku silnice $\bar{s} = 6 - 7$ m



Obrázek 3.2: Jednosměrný provoz-oboustranné osvětlení



Obrázek 3.3: *Obousměrný provoz (nejčastější případ)*

3.2 Osvětlení přechodů pro chodce podle norem

Norma ČSN 73 6110 – Projektování místních komunikací

Článek 165

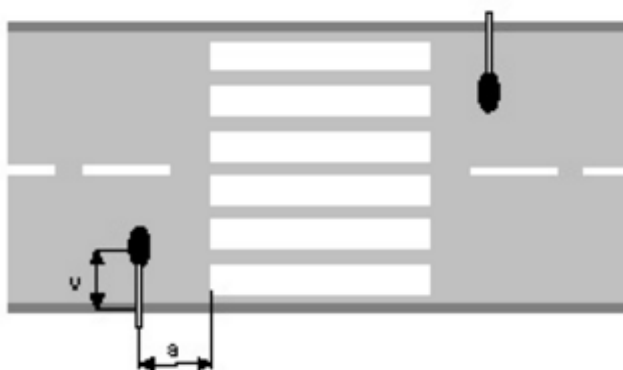
Přechod pro chodce se doporučuje intenzivněji osvětlit, popř. i odlišným zbarvením světla a světelný zdroj umístit pokud možno 1, 50 až 2, 00 m před přechod.

Norma ČSN EN 13 201-2/Z1 – Osvětlení pozemních komunikací

Část 2: Výběr tříd osvětlení, Změna Z1, Národní příloha NB (informativní)

3.2.1 NB.1.1 Osvětlení přechodu pro chodce s pozitivním kontrastem

V případě potřeby zvýšení bezpečnosti chodců na přechodu se aplikuje místní osvětlení přechodu s pozitivním kontrastem chodce vůči pozadí (světlý chodec vůči relativně tmavému pozadí). V případě potřeby zvýšení bezpečnosti chodců na přechodu se aplikuje místní osvětlení přechodu s pozitivním kontrastem chodce vůči pozadí (světlý chodec vůči relativně tmavému pozadí). Ze světelně technického výpočtu, pro použitý typ svítidla s asymetrickou vyzařovací charakteristikou, vyplyne umístění svítidla, jeho vzdálenost a od přechodu a přesah v . Provedení místního osvětlení a projekt musí vycházet z individuálního posouzení každého konkrétního případu. Geometrické umístění svítidla se může značně lišit v závislosti na délce a šířce přechodu a na rozložení svítivosti daného svítidla. Odlišnou barvou světla je možno zvýšit osvětlenost přechodů (v případě osvětlení komunikace vysokotlakými sodíkovými výbojkami se doporučuje použití halogenidových výbojek). Kvalitativní požadavky na osvětlení přechodů po dohodě stanoví příslušný správce veřejného osvětlení. Příklad rozmístění svítidel místního osvětlení přechodu pro chodce při pozitivním kontrastu je uveden na obrázku 3.4.

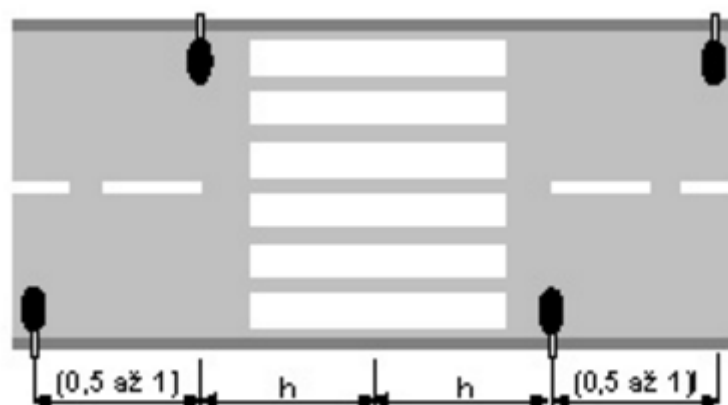


Obrázek 3.4: Osvětlení přechodu s pozitivním kontrastem

a - vzdálenost od přechodu,
 v - přesah.

3.2.2 NB.1.2 Osvětlení přechodu pro chodce s negativním kontrastem

V případě přechodů pro chodce, kde místní osvětlení není požadováno, se svítidla umísťují tak, aby zajistila co největší negativní kontrast chodce vůči pozadí (tmavá silueta chodce vůči světlému pozadí). Proto se svítidla nemají umísťovat těsně k přechodu nebo nad něj. Světelná místa pro rozlišení chodce při negativním kontrastu se doporučují rozmístit podle obrázku 3.5.



Obrázek 3.5: *Osvětlení přechodu pro chodce s negativním kontrastem*

l - rozteč svítidel,

h – montážní výška.

4 Metodické pokyny pro přisvětlení přechodů

Vidět a být viděn je základní podmínka bezpečnosti silničního provozu. Pro splnění této podmínky hlavně večer a v noci slouží systém přisvětlení přechodů pro chodce. Jde o zvýraznění vlastního místa přechodu pro chodce a chodce na něm. Zvýraznění je prováděno jinou barvou světla, než je okolní veřejné osvětlení (zpravidla změnou teplotního stupně bílé barvy), intenzitou a směrovým charakterem osvětlení tak, aby byl chodec osvětlen ze směru jízdy přijíždějícího vozidla, a aby byl ve velkém pozitivním kontrastu vůči tmavšímu pozadí. Použitím jiné barvy a intenzity osvětlení je docíleno toho, že přechod je zdůrazněn a nesplývá s běžným uličním osvětlením

4.1 Technický popis

Pro přisvětlení přechodů pro chodce používáme zejména svítidla SP 03 ZEBRA, jež jsou z hlediska údržby a užitných vlastností ověřeny dlouholetým používáním ve variantě MC 2 v uličním osvětlení. Pro přisvětlení přechodů mají svítidla jinou asymetrickou vyzařovací charakteristiku, a jsou v nich halogenidové výbojky, čímž je zajištěna bílá barva světla. Svítidla jsou s výhodou instalována na hraně jehlanovité stožáry s vyložením do 3 m.

Elektrické napájení přisvětleného přechodu je řešeno buď z rozvodu veřejného osvětlení - potom jsou spínací časy stejné s časy sepnutí a vypnutí veřejného osvětlení, nebo časy řeší samostatně připojením na rozvod nn, nebo na trvale napájenou větev veřejného osvětlení s individuálním ovládáním.

Všechny osvětlené přechody je potřeba řešit individuálně projektem na základě výpočtu, kterému je třeba věnovat určitou pozornost a brát ohled na umístění svítidla nad přechodem (výška, vyložení, rovnoměrnost a zabránění oslnění řidičů).

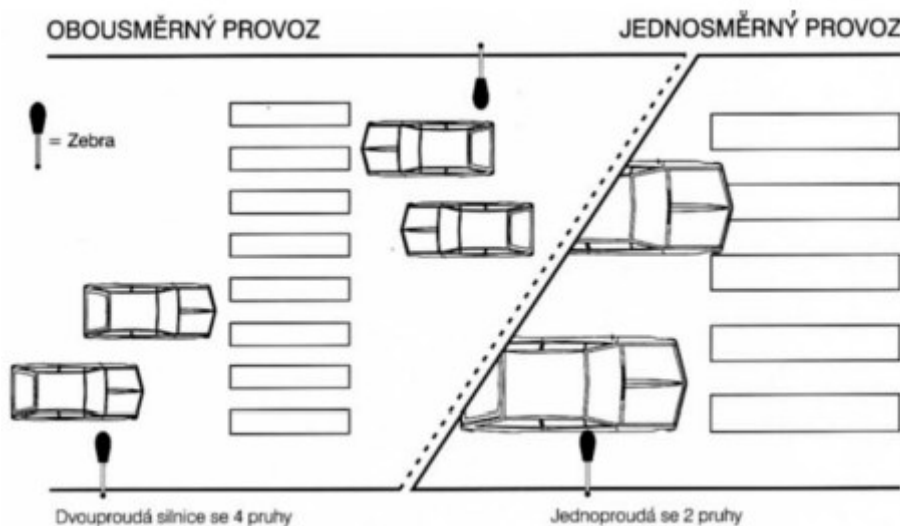
4.2 Příklad přisvětlení přechodů pro chodce.



Obrázek 4.1: *přisvětlení přechodu pro chodce*

Z obrázku je jasně vidět zdůraznění přechodu jinou barvou světla a jeho zvýšenou intenzitou. Chodec vcházející na přechod je osvětlen ve směru pohledu přijíždějícího řidiče.

4.3 Situační příklady řešení přechodů



Obrázek 4.2: Situační řešení přechodů (obousměrný a jednosměrný provoz)

4.4 Obecné požadavky

Prisvětlení přechodů může být realizováno jen při splnění těchto podmínek:

- Prisvětlování pouze části přechodů se zřizovat nesmí.
- Pozemní komunikace musí být osvětlena před přechodem i za ním, v úrovni předepsané normou ČSN EN 13201-2, v délce závislé na povolené rychlosti. Délka měřená v ose pozemní komunikace od osy přechodu, je v každém směru nejméně:
 - 50 m pro dovolenou rychlost nejvýše 30 km/h,
 - 100 m pro dovolenou rychlost vyšší než 30 km/h, ale nepřesahující 50 km/h,
 - 150 m pro dovolenou rychlost vyšší než 50 km/h.
- S prisvětlením přechodu musí také současně svítit veřejné osvětlení, viz. předchozí bod.
- Když se bude úroveň osvětlení pozemní komunikace regulovat (snižovat, zvyšovat), musí se regulovat také úroveň prisvětlení přechodu tak, aby bylo shodné s požadavky tabulky 1. Jestliže není regulace prisvětlení přechodu možná, pak se musí úroveň osvětlení pozemní komunikace zachovat v úsecích o délce podle předchozího bodu.

Tabulka 4.1: Udržovaná svislá průměrná osvětlenost

Udržovaná hodnota stávajícího osvětlení		Udržovaná průměrná svislá osvětlenost (lx)		
jasu povrchu pozemní komunikace/pozadí (cd.m^{-2})	horizontální osvětlenosti pozemní komunikace (lx)	nejnižší		nejvyšší
		prostor		všechny prostory
		základní	doplňkový	
$1,5 \leq \bar{L}$	$50 \leq \bar{E}$	přisvětlení se nezřizuje		
$1,0 \leq \bar{L} < 1,5$	$30 \leq \bar{E} < 50$	75	50	200
$0,75 \leq \bar{L} < 1,0$	$20 \leq \bar{E} < 30$	50	30	150
$0,5 \leq \bar{L} < 0,75$	$10 \leq \bar{E} < 20$	30	20	100
$\bar{L} < 0,5$	$\bar{E} < 10$	15	10	50

Přisvětlení přechodů se nezřizuje, je-li splněna některá z těchto podmínek

- Přechod je ovládán světelným signalizačním zařízením (SSZ) nebo je součástí křižovatky řízené SSZ. Přisvětlení a střídavý provoz SSZ je možný.
- Ve vzdálenosti závislé na dovolené rychlosti je další přechod, jenž není přisvětlen, ani řízen SSZ. Tato vzdálenost, měřená v ose pozemní komunikace od osy přechodu, je nejméně:
 - 50 m pro dovolenou rychlost nejvýše 30 km/h,
 - 100 m pro dovolenou rychlost vyšší než 30 km/h, ale nepřesahující 50 km/h,
 - 150 m pro dovolenou rychlost vyšší než 50 km/h.
- Zřízením přisvětlení by došlo ke snížení kontrastu mezi chodcem a pozadím působením dalších osvětlených ploch do té míry, že by zřízením přisvětlení naopak klesla viditelnost chodců na přechodu.
- Do vzdálenosti 20 m od okraje základního prostoru, měřeno v ose pozemní komunikace, je umístěn signál S7 – přerušované žluté světlo (viz TP-65 – zásady pro dopravní značení na pozemních komunikacích, platí i pro zvýraznění P6 – Stůj, dej přednost v jízdě), jiný světelný signál nebo jiné zařízení určené pro řidiče, jenž svítí přerušovaným světlem (viz např. TP 217 dopravní knoflíky LED). Neplatí pro signál přejezdového zabezpečovacího zařízení, pro zařízení spouštěná jen výjimečně, jako například při výjezdu hasičů, nebo pro signál „přerušované žluté světlo“ na SSZ pro řízení provozu.

Na uceleném úseku pozemní komunikace se doporučuje vybavit přisvětlením vždy všechny přechody.

Když je osvětlení části úseku blízko přechodu zajišťováno veřejným osvětlením jiného majitele nebo venkovním osvětlením, musí být zajištěna doba spínání a prostorový rozsah veřejného/venkovního osvětlení. Veřejné osvětlení je technicky stejně řešeno jako venkovní osvětlení.

4.5 Požadavky na přisvětlení

- 1. Na přechodu musí být chodec osvětlen tak, aby byla zajištěna jeho včasná a dostačující rozlišitelnost ze směru příjezdějícího vozidla k přechodu.
- 2. Udržovaná průměrná svislá osvětlenost je předepsána na srovnávací vodorovné rovině ve výšce 1 m nad úrovní přechodu. Svislou osvětleností se rozumí normálová osvětlenost plošky otočené ve směru k vozidlu příjezdějícímu k přechodu a rovnoběžné se svislou rovinou určenou osou přechodu.
- 3. V tabulce 1 jsou pro základní a doplňkové prostory uvedeny nejnižší a nejvyšší dovolené hodnoty udržované průměrné svislé osvětlenosti. Udržovaná průměrná svislá osvětlenost doplňkových prostorů by měla dosahovat stejné hodnoty jako v základním prostoru. Dovolený poměr udržované průměrné svislé osvětlenosti v základním prostoru k těžce veličině v jakémkoliv doplňkovém prostoru musí být v rozsahu 0, 5 až 2, 0.
- 4. V tabulce 1 se provádí výběr podle udržovaného jasu vozovky. Udržovaný jas vozovky se může nahradit jasnem pozadí stanoveným podle bodu 6. Když není znám jas, vycházíme z velikosti udržované horizontální osvětlenosti pozemní komunikace.
- 5. U přechodů, kde pozadí není tvořeno vlastní vozovkou, se vyhodnocuje jas pozadí podle bodu 6. Jsou to přechody na horizontu, v blízkosti zatáček, na zvlněné komunikaci apod.
- 6. Jas pozadí je možné vyhodnotit též jako jas průmětu svislé plochy výšky 2, 1 m a šířky rovné délce přechodu prodloužené o doplňkové prostory na pozadí. Plocha je umístěna na zadní hraně přechodu, rovnoběžně s osou přechodu. Pozice pozorovatele je ve vzdálenosti 60 m před osou přechodu, uprostřed odpovídajícího jízdního pásu, ve výšce 1, 5 m nad vozovkou. Měření se provádí v noci při plném provozu veřejného osvětlení.
- 7. Celková rovnoměrnost svislé udržované osvětlenosti je poměr minimální a průměrné svislé osvětlenosti v jednotlivých prostorech. Nesmí být menší než 0, 4. V doplňkovém prostoru se vyhodnocuje jen, když se jedná o prodloužený doplňkový prostor.
- 8. Výpočtem určíme přesnou polohu umístění svítidla. Na přechodu nesmí žádná z částí zařízení přisvětlení zasahovat do průjezdného prostoru pozemní komunikace nebo do ochranného pásma trakčního vedení drážních vozidel MHD.
- 9. Svítidla, která se používají pro přisvětlení přechodů nesmí způsobit, aby na pozemní komunikaci došlo k vyššímu omezujícímu oslnění, než připouští pro danou třídu osvětlení norma ČSN EN 13201-2.
- 10. Barevný tón světla používaných světelných zdrojů musí být z jiné skupiny barevných tónů, než který je použit pro osvětlení pozemní komunikace, resp. v daném místě převažuje. Poměr náhradních teplot chromatičnosti, by měl být minimálně v poměru 1 : 1, 5.
- 11. Tam, kde není možné realizovat přechod s přisvětlením, lze pro zlepšení viditelnosti chodce použít jiná opatření, například použít negativní kontrast (jenž se zřizuje podle zásad uvedených v ČSN EN 13201-2/Z1) nebo použít stavební nebo dopravní úpravy/opatření. V případě nevyhovujícího stavebního uspořádání stávajícího přechodu (např. nevhodná délka) lze případ řešit pomocí dodatečných stavebních úprav přechodu (např. fyzické oddělení jízdních směrů, snížení počtu jízdních pruhů apod.).

4.6 Měření a vyhodnocení přechodu

Na nařízení EU, u nemocnice v obci Bílovec na ulici 17. listopadu, byl zřízen přechod a jeho osvětlení. To se ovšem nelíbí obyvatelům bytového domu poblíž přechodu, z důvodu působení rušivého světla do oken domu. Na základě stížnosti majitele jsme jeli ověřit kvalitu a kvantitu osvětlení.

Popis venkovní osvětlovací soustavy

Přechod pro chodce je osvětlován svítidly typu A a osvětlovací soustava komunikace, na které se měřený přechod nachází, je realizována svítidly typu B. Situace je zobrazená na obrázku 4.3, kde vidíme, že osvětlovací soustava vlevo od přechodu postupně přechází z LED svítidel do svítidel s vysokotlakými sodíkovými výbojkami (typ C). Předmětem toho měření byl přechod pro chodce a vymezená část komunikace v okolí přechodu pro chodce, z důvodu správného výběru světelných parametrů přechodu dle předpisu TKP.



Obrázek 4.3: Popis měřeného přechodu

4.6.1 Postup měření:

Měření bylo realizováno večer, aby se vyloučilo působení denního osvětlení. Svítidla byla před měřením v provozu 20 minut, aby bylo možno považovat světelný tok za ustálený. Měření parametrů komunikace, na které se přechod nachází, proběhlo z důvodu správného zatřídění přechodu dle předpisu TKP kapitola 15. Napětí sítě bylo naměřeno v rozsahu 235, 3 - 235, 5 V. Teplota během měření byla 7 °C.

Podle normy ČSN EN 12464-2 a dle předpisu TKP, byly vymezeny sítě rovnoměrně rozložených měřících bodů na ploše komunikace a přechodu.

Hodnoty osvětlenosti komunikace byly měřeny přímo na vozovce (výška srovnávací roviny 0m). Přechod pro chodce byl měřen dle předpisu TKP kapitola 15, byly měřeny vertikální osvětlenosti ve výšce 1 m nad vozovkou v obou směrech příjíždějících řidičů.

Z naměřených hodnot byly následně vypočítány průměrné hodnoty osvětlenosti ze vztahu:

$$E_m = E_{m0} \cdot z \quad (4.1)$$

A rovnoměrností:

$$u = \frac{E_{min0}}{E_{m0}} \quad (4.2)$$

Nejistota měření je vyjádřena jako rozšířená standartní nejistota U s koeficientem rozšíření k= 2, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí 95 % a je stanovena na ±10 %. Naměřené a vypočítané hodnoty jsou uvedeny v tabulkách.

4.6.2 Měřené prostory

- viz příloha A - fotodokumentace

4.6.3 Svítidla a zdroje

Tabulka 4.2: *Svítidla a zdroje měřené osvětlovací soustavy*

	SVÍTIDLO	SVĚTELNÝ ZDROJ
A	VYRTYCH HORNET-P-150H	PHILIPS MASTER CDM-TT 150W 4200K
B	INDAL LUMA 1 R5	LED 66W 4000K
C	neznáme	Vysokotlaká sodíková výbojka Tc=2300K

4.6.4 Naměřené a vypočtené hodnoty pro přechod a komunikaci

Viz příloha B.

4.6.5 Udržovací činitel

Udržovací činitel nové osvětlovací soustavy byl zvolen 0, 8.

4.6.6 Požadované hodnoty osvětlení

Dle předpisu TKP, kapitola 15 - Osvětlení pozemních komunikací, Ministerstvo dopravy, obor infrastruktury, byly na základě vyhodnocení osvětlení komunikace vybrány tyto světelné parametry pro nasvětlení přechodu.

Průměrná udržovaná osvětlenost přilehlé komunikace v oblasti (dle obrázku 4.3) VO1 je 8, 4 lx a v oblasti VO3 4, 5 lx. (viz příloha B)

Tabulka 4.3: Světelné parametry přechodu pro danou světelnou třídu komunikace dle TKP

Udržovaná hodnota		Průměrná svislá osvětlenost (lx)		
jasu povrchu pozemní komunikace (cd.m ⁻²)	horizontální osvětlenosti pozemní komunikace (lx)	nejnižší		nejvyšší
		prostor		všechny prostory
		základní	doplňkový	
$\bar{L} < 0,5$	$\bar{E} < 10$	15	10	50

4.6.7 Výsledky měření vertikální a horizontální osvětlenosti přechodu

Osvětlení přechodu zapnuto

Tabulka 4.4: výsledky měření vertikální a horizontální osvětlenosti v zapnutém stavu

Prostor	Vertikální osvětlenost (směr 1)		Vertikální osvětlenost (směr 2)		Horizontální osvětlenost	
	Osvětlenost	Rovnoměrnost	Osvětlenost	Rovnoměrnost	Osvětlenost	Rovnoměrnost
	E _m (lx)	U _o (-)	E _m (lx)	U _o (-)	E _m (lx)	U _o (-)
Nástup	69,33	0,67	21,6	0,81	91,2	0,93
Přechod	59,42	0,33	51,5	0,37	117,55	0,80
Nástup	22,13	0,67	55,2	0,69	88,8	0,92

Směry vyhodnocování vertikální osvětlenosti jsou patrné z obrázku 4.3.

Výpočet poměru mezi vertikální osvětleností přechodu a horizontální osvětleností komunikace příslušné oblasti:

$$\text{Směr 1: } P_1 = \frac{E_{v1}}{E_{vO1}} = \frac{59,42}{8,4} = 7 \quad (4.3)$$

$$\text{směr 2: } P_1 = \frac{E_{v2}}{E_{vO3}} = \frac{51,5}{4,5} = 11,4 \quad (4.4)$$

- P_1 - poměr mezi vertikální a horizontální osvětleností (-),
- E_{v1-2} - vertikální osvětlenost ve směru 1 a ve směru 2 (lx),
- E_{vO1-3} - horizontální osvětlenost komunikace v oblasti VO1 a VO3 dle obr. 4.3. (lx).

Osvětlení přechodu vypnuto

Tabulka 4.5: výsledky měření horizontální a vertikální osvětlenosti ve vypnutém stavu

Prostor	Vertikální osvětlenost (směr 1)		Vertikální osvětlenost (směr 2)		Horizontální osvětlenost	
	Osvětlenost	Rovnoměrnost	Osvětlenost	Rovnoměrnost	Osvětlenost	Rovnoměrnost
	E _m (lx)	U _o (-)	E _m (lx)	U _o (-)	E _m (lx)	U _o (-)
Nástup	3,73	0,96	7,25	0,90	6,55	0,98
Přechod	5,39	0,80	9,05	0,89	8,38	0,65
Nástup	6,0	0,90	9,0	0,84	8,25	0,75

$$\text{Směr 1: } P_3 = \frac{E_{v1}}{E_{VO1}} = \frac{5,39}{8,4} = \mathbf{0,64}$$

$$\text{Směr 2: } P_4 = \frac{E_{v2}}{E_{VO3}} = \frac{9,05}{4,5} = \mathbf{2}$$

- P_1 - poměr mezi vertikální a horizontální osvětleností (-),
- E_{v1-2} - vertikální osvětlenost ve směru 1 a ve směru 2 (lx),
- E_{VO1-3} - horizontální osvětlenost komunikace v oblasti VO1 a VO3 dle obr. 4.3. (lx).

Z vypočtených hodnot můžeme vidět, že nasvětlení přechodu zvyšuje viditelnost chodce, který se na něm nachází. Poměr mezi vertikální osvětleností přechodu a horizontální osvětleností příslušné části komunikace je při vypnutém nasvětlení přechodu velmi nízký. Také naměřené hodnoty osvětlenosti přechodu jen minimálně překračují maximální dovolenou hodnotu osvětlenosti definovanou předpisem TKP 15. Toto tvrzení je podloženo i vyhodnocením jasové analýzy v bodě 4.6.9.

4.6.8 Jasová analýza přechodu

Jasová analýza přechodu byla měřena z důvodu zjištění jasových poměrů mezi chodcem a pozadím, a přechodem a pozadím. Měření bylo provedeno při vypnutém a zapnutém osvětlení přechodu.

Viz příloha B.

Vyhodnocení:

Z výsledků hodnocení jasové analýzy snímků přechodu, které byly zhotoveny v obou směrech při zapnutém a vypnutém osvětlení přechodu, lze stanovit závěr, že osvětlení přechodu zvyšuje viditelnost chodců. Srovnáním vypočtených kontrastů mezi jasy v příloze B je vidět, že kontrasty mezi jasem chodce a pozadím jsou při vypnutém přechodu velmi nízké a chodec nejde skoro vidět. Dále je třeba upozornit na nedodržený poměr mez teplotami chromatičnosti svítidel přechodu a svítidel osvětlujících přílehlou komunikaci. Tento poměr by měl být dle předpisu TKP nejméně 1 : 15. Podle technické dokumentace jsou pro osvětlení přechodu pro chodce a komunikace použité světelné zdroje s $T_c \approx 4000 \text{ K}$.

5 Návrh vybrané osvětlovací soustavy s uplatněním nejnovějších environmentálních poznatků

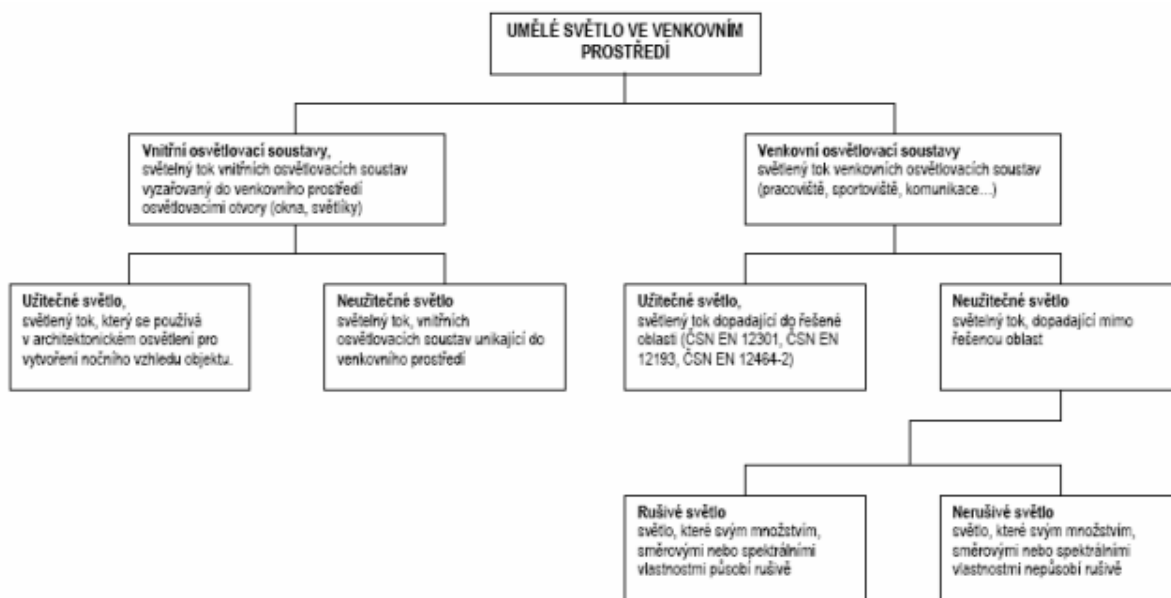
Vedlejší účinky umělého osvětlení ve venkovním prostředí nejsou tak jednoduchý problém k řešení, jak by se mohlo na první pohled zdát. Umělé osvětlení je v přirozeném nočním světelném prostředí cizorodou složkou, proto byl zaveden termín světelné znečištění (nepříznivé účinky umělého osvětlení).

Ve venkovním prostředí jsou zdrojem umělého světla jak vnitřní, tak venkovní osvětlovací soustavy. Vliv vnitřních osvětlovacích soustav patří do oblasti návrhu osvětlení vnitřních prostorů, ale v současné době není zohledňován.

U venkovních osvětlovacích soustav se světelný tok rozděluje na užitečný a neužitečný. Užitečný světelný tok slouží k určitému účelu a dopadá do oblasti, kterou má osvětlit (například na povrch komunikace nebo plochu sportoviště apod.). Přímá složka v tomto případě nepůsobí rušivě, protože dopadá do místa určení. Problém je však odražený světelný tok od osvětlovaných ploch řešeného prostoru, který už může působit rušivě. Souvisí ovšem přímo s účelem osvětlovací soustavy, proto jej nelze odstranit. Její nepříznivý vliv je možné zmenšit v rámci optimalizace provozu osvětlovací soustavy těmito způsoby:

- kontrolou hladiny osvětlenosti,
- kontrolou časového využití osvětlovací soustavy.

Na základě časových plánů nebo údajů z reálných situací o hustotě provozu, klimatických podmínkách, jasu okolí apod., se přizpůsobují světelné podmínky na komunikacích.



Obrázek 5.1: *Umělé světlo ve venkovním prostředí*

Neužitečné světlo je světlo, které vyzařuje osvětlovací soustava za hranice osvětlovaného objektu. Rušivé světlo je neužitečné světlo, které svými směrovými, kvantitativními nebo spektrálními vlastnostmi v dané situaci zvětšuje obtěžování, nepohodu, rozptýlení, nebo zamezuje schopnosti vidět nejdůležitější informace.



Obrázek 5.2: popis rušivého světla venkovních osvětlovacích soustav

Rušivé účinky venkovního osvětlení z pohledu místních obyvatel mohou být dvojího typu. Světlo z venkovních osvětlovacích soustav může svítit do obytných místností určených ke spaní (např. ložnice, dětský pokoj). Tento rušivý vliv se kontroluje vertikální osvětleností E_v v úrovni fasády nebo na hranici plánovaného objektu. Při výpočtu se hodnotí příspěvky od veškerých svítidel venkovního osvětlení, a bere se v úvahu vliv pevných stínících překážek. Druhým rušivým elementem může být výskyt jasných částí svítidel v zorném poli při pohledu z obytných místností do venkovního prostředí. Tento rušivý vliv se kontroluje svítivostí svítidel v daných směrech I_v .

Rušivé účinky na uživatele přilehlých pozemních komunikací (např. chodce, motoristy apod.) se projevují poklesem schopnosti vnímání, způsobené fyziologickým oslněním od svítidel a světelných zdrojů. Pro hodnocení tohoto rušivého vlivu se používá prahový přírůstek TI. Hodnotí se pro určité polohy pozorovatelů a směr pozorování, obdobně jako u pozemních komunikací pro motorovou dopravu.

Tabulka 5.1: Hodnoty světelně technických parametrů pro kontrolu rušivého světla

Zóna životního prostředí [*]	Parametr							
	E_v (lx)		$I_{c,v}$ (cd)		TI (%)	ULR (%)	L_a (cd/m ²)	L_s (cd/m ²)
	$t_s < t_c$	$t_s > t_c$	$t_s < t_c$	$t_s > t_c$				
E1	2	0	2 500	0	15	0	0	50
E2	5	1	7 500	500	15	5	5	400
E3	10	2	10 000	1 000	15	15	10	800
E4	25	5	25 000	2 500	15	25	25	1000

E1 - velmi tmavé oblasti jako národní parky a chráněná území,

E2 - málo osvětlené oblasti jako průmyslové a obytné venkovské oblasti,

E3 - středně světlé oblasti jako průmyslová a obytná předměstí,

E4 - velmi světlé oblasti jako městská centra a obchodní zóny.

5.1 Světelně technické měření rušivého světla veřejného osvětlení a osvětlení přechodu v obci Bílovec

5.1.1 Popis venkovní osvětlovací soustavy

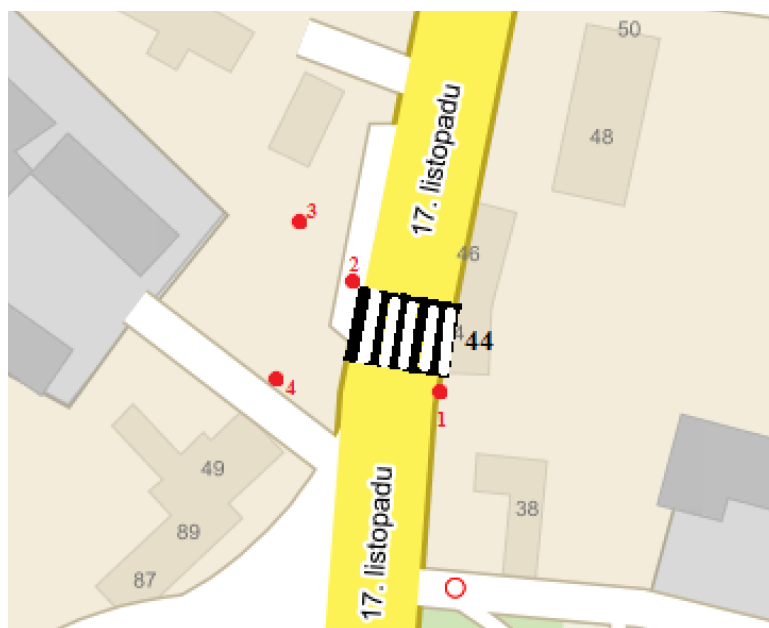
Na ulici 17. listopadu v obci Bílovec, byla předmětem měření fasáda bytového domu, z důvodu stížnosti majitele objektu. Měření bylo prováděno do výšky oken prvního patra, viz příloha A. Osvětlovací soustavu kolem objektu tvoří dvě svítidla typu A (veřejné osvětlení) a dvě svítidla typu B (osvětlení přechodu pro chodce).

5.1.2 Svítidla a světelné zdroje

Všechna svítidla a světelné zdroje byly plně funkční v době měření. Veškeré zdroje byly v provozu déle jak 100 hodin.

Tabulka 5.2 Svítidla a světelné zdroje měřené osvětlovací soustavy

	SVÍTIDLO	SVĚTELNÝ ZDROJ
A	INDAL LUMA 1 R5	LED 66W 4000K
B	VYRTYCH HORNET-P-150H	PHILIPS MASTER CDM-TT 150W 4200K



Obrázek 5.3: Poloha svítidel v měřené oblasti

Na obrázku 5.3 jsou vyznačena svítidla, která jsou zdrojem rušivého světla. Problémový objekt je označen číslem 44. Jednotlivá svítidla jsou od problematického objektu vzdálena: sv. 1 - 2 m, sv. 2 - 11 m, sv. 3 - 19 m a sv. 4 - 22 m. Svítidla 1 a 2 jsou typu B, svítidla 3 a 4 jsou typu A.

5.1.3 Postup měření

Měření bylo realizováno večer, aby se vyloučilo působení denního osvětlení. Svítidla byla před měřením v provozu 20 minut, aby bylo možno považovat světelný tok za ustálený. Rušivé osvětlení

bylo změřeno s vypnutým a zapnutým osvětlením přechodu pro chodce. Napětí sítě bylo naměřeno v rozsahu 235, 3 - 235, 5 V. Teplota během měření byla 10 °C.

Podle normy ČSN EN 12464-2 a dle požadavků uživatele, byly vymezeny sítě rovnoměrně rozložených měřicích bodů na ploše měřené části objektu bytového domu.

Hodnoty osvětlenosti (rušivého světla) byly měřeny přímo na fasádě bytového domu. To znamená, že srovnávací rovina byla rovnoběžná s fasádou budovy. Z naměřených hodnot byly následně vypočítány průměrné hodnoty osvětlenosti ze vztahu:

$$E_m = E_{m0} \cdot z \quad (5.1)$$

A rovnoměrností:

$$u = \frac{E_{mino}}{E_{mo}} \quad (5.2)$$

Nejistota měření je vyjádřena jako rozšířená standartní nejistota U s koeficientem rozšíření k= 2, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí 95 % a je stanovena na ±10 %. Naměřené a vypočítané hodnoty jsou uvedeny v tabulkách.

5.1.4 Měřené prostory

- viz. příloha A - fotodokumentace.

5.1.5 Měřicí přístroje

Luxmetr RadioLux 111	Rozsah:	0, 001 lx ÷ 360 klx ve 3 rozsazích
	Výrobce:	PRC Krochman
	Sériové číslo:	No.100612
	Přesnost:	± (2 % MH)
Voltmetr MX 44	Rozsah:	750 V~
	Výrobce:	ITT instruments
	Výrobní číslo:	92 50 4988 0166

5.1.6 Udržovací činitel

Velikost udržovacího činitele byla stanovena na hodnotu 1, 0 z důvodu vyhodnocení aktuálního rušivého osvětlení.

5.1.7 Vyhodnocení měření rušivého světla

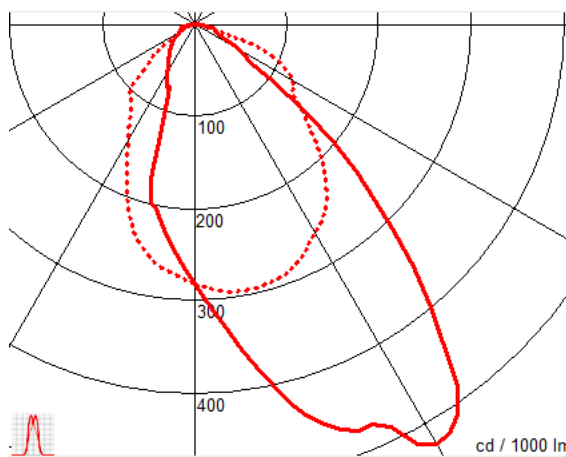
Hodnoty v tabulkách jsou přepočteny na hodnotu udržovacího činitele 1, 0.

Tabulka 5.3: *vyhodnocení měření rušivého světla při vypnutém a zapnutém osvětlení přechodu*

Druh činnosti	Index podání barev Ra	Měřená plocha	Průměrná Em (lx)	Ref.č	Maximální Emax (lx)	Minimální Emin (lx)
vyhodnocení měření rušivého osvětlení						
Osvětlení fasády bytového domu (osvětlení přechodu zapnuto)	-	Oblast fasády odpovídající 1.NP	11	CSN EN 12464-2 (Tabulka 2.)	19	5
Osvětlení fasády bytového domu (osvětlení přechodu vypnuto)	-	Oblast fasády odpovídající 1.NP	1,8	CSN EN 12464-2 (Tabulka 2.)	2,2	1,4

Z naměřených hodnot rušivého osvětlení plyne, že osvětlovací soustava při zapnutém osvětlení přechodu vyhovuje jenom oblasti E4 v době mimo noční klid. V případě, kdy je osvětlení přechodu vypnuté, poklesla maximální osvětlenost na 2, 2 lx, což spadá pod oblast E4 (doba nočního klidu). Jestliže při měření zohledníme chybu měření $\pm 5 \%$, je možno danou oblast při vypnutém osvětlení přechodu zařadit do zóny prostředí E3.

5.1.8 Technické parametry svítidla VYRTYCH HORNET -P -150H



Obrázek 5.4: *Křivka svítivosti svítidla*

Výrobce: VYRTYCH a.s.

HORNET-P-150H-T-Pstranný

Svítidlo pro osvětlení přechodů

Délka: 620 mm, Šířka: 310 mm, Výška: 370 mm

Účinnost: 67,42%
Luminaire efficacy: 60.68 lm/W (A50, ↓ 98.8% ↑ 1.2%)
CIE Flux Codes 59 88 97 99 67
Celk. příkon svítidla 150 W

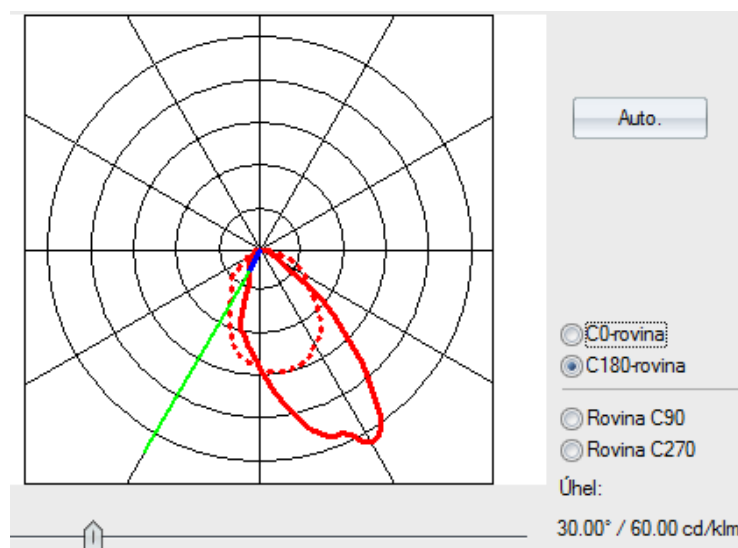
Osazení: 1 x MASTERCITY CDO-TT E40
150W/828 150W

Celkový světelný tok: 13500 lm

Světelný tok nouzového osvětlení: -----

Obrázek 5.5: Technické parametry svítidla

5.1.8.1 Výpočet svítivosti v potencionálně rušivém směru pro svítidlo 1 (C0- rovina 30°)



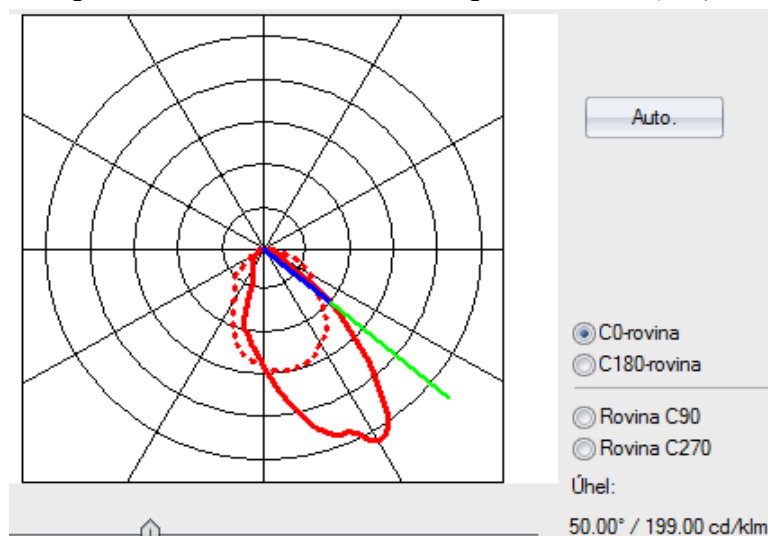
Obrázek 5.6: Svítivost svítidla v 30° roviny C180 přepočtená pomocí světelného toku světelného zdroje (13,5klm)

$$\text{Výpočet svítivosti v daném směru: } I = I_s \cdot \phi_z = 60 \cdot 13,5 = 810 \text{ cd} \quad (5.3)$$

I_s - svítivost přepočtená pomocí světelného toku zdroje (13, 5 klm),

ϕ_z - světelný tok světelného zdroje (13, 5 klm) viz. obr. 5.5.

5.1.8.2 Výpočet svítivosti v potenciálně rušivém směru pro svítidlo 2 (50°)



Obrázek 5.7: Svítivost svítidla v 50° roviny C180 přepočtena pomocí svítivosti světelného zdroje (13,5 klm)

Výpočet svítivosti v daném směru: $I = I_s \cdot \phi_z = 199 \cdot 13,5 = 2686,5 \text{ cd}$ (5.4)

I_s - svítivost přepočtená pomocí světelného toku zdroje (13, 5 klm),

ϕ_z - světelný tok světelného zdroje (13, 5 klm), viz obr.5.5.

Ze záznamů, které byly vyhodnoceny programem Relux (program na výpočet a návrh osvětlení), můžeme určit hodnotu $ULR = 1, 2 \%$ (viz obr.4). Tato hodnota je přijatelná pro zóny prostředí E2 - E4. Svítivosti v potenciálně rušivém směru jsou rovněž určeny programem Relux, viz obr. 5.6 a 5.7. Z hodnot svítivosti svítidel v potenciálně rušivém směru plyne, že svítidla jsou vhodná pro provoz v době mimo noční klid v zónách prostředí E2 - E4. Nicméně, v době nočního klidu, vykazuje svítidlo 2, podle obrázku 5.3 nadměrné hodnoty svítivosti v potenciálním rušivém směru, a proto by se měla daná osvětlovací soustava během doby nočního klidu provozovat na nižší napětí.

Závěr

Teoretická část se zabývá zdroji používanými ve VO. V dnešní době se hodně diskutuje, zda použít ve VO vysokotlaké sodíkové výbojky nebo LED diody. U LED diod se dá lépe regulovat světelný tok, než u vysokotlakých sodíkových výbojek. Výhoda okamžité regulace se ovšem ve VO zatím neuplatní. U LED diod je uváděná doba života 100 000 h nereálná, v praxi se předpokládá doba života 30 000 h, což je o něco méně než u vysokotlakých sodíkových výbojek (40 000 h.). Po ekonomické stránce se dá říci, že při současných investičních a provozních nákladech ve VO, jsou vysokotlaké sodíkové výbojky ekonomicky výhodnější než LED.

Dále jsou v teoretické části popsány negativní účinky rušivého světla a rozdělení environmentálních zón do 4 skupin (E1-E4), rovněž jsou zde popsány normy.

V praktické části je provedeno měření na přechodu pro chodce jasovým analyzátozem, kde zjišťujeme kontrast mezi chodcem a pozadím, přechodem a pozadím, a dále měření rušivého světla přechodu, které dopadá na fasádu bytového domu na ulici 17. listopadu v obci Bílovec. Výsledky jsou takové, že v případě nasvětleného přechodu, jsou jasové kontrasty mezi chodcem a pozadím podstatně vyšší, než při vypnutém nasvětlení přechodu, kdy chodce nelze skoro vidět. Je tedy zřejmé, že osvětlení přechodu zvyšuje viditelnost chodce. Současně jedno ze svítidel vykazuje nadměrné osvětlení fasády bytového domu stěžující ho si majitele. Světla jsou od objektu velmi blízko, jedno 1 m, druhé 11 m. V těchto případech je možno instalovat clony, které slouží k omezení světelného toku do nežádoucích směrů. Dále není dodržen poměr teplot chromatičnosti, který by měl být 1 : 1, 5 dle TKP 15.2. Teplota chromatičnosti LED osvětlení splývá s halogenidovou výbojkou. Tc LED a halogenidové výbojky je cca 4000 K. Při návrhu přechodu je nutné mít nasvětlené adaptační zóny přechodu. Tento přechod by měl být osvětlen před i za, ve vzdálenosti 100 m pro dovolenou rychlost vyšší než 30 km/h, ale nepřesahující 50 km/h.

Omezit nepříznivé účinky osvětlovacích soustav je možné. Nejjistějším způsobem je profesionální přístup k problému. Osvětlovací soustavy může navrhovat jedine kvalifikovaný odborník vzdělaný v oboru elektro osvětlování.

Použitá literatura

- [1] SOKANSKÝ K. a kol.: *Světelná technika*, Praha 2011, nakl. ČVUT Praha
- [2] BALEJA Richard, NOVÁK Tomáš a SOKANSKÝ Karel. *Světelně technické měření veřejného osvětlení a přechodu pro chodce v obci Bílovec*. Ostrava, 2016.
- [3] NOVÁK Tomáš, HELŠTÝNOVÁ Barbara, SOKANSKÝ Karel, MLČÁK Tomáš a Orság Petr. *Projekce a konstrukce vyhrazených technických zařízení elektro II*. Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3536-5.
- [4] Anténe J.: *Ekologie a veřejné osvětlení*, Diplomová práce, 2013
- [5] Bartošík M.: *Aplikace nových norem ve veřejném osvětlení*, Bakalářská práce, 2007
- [6] Časopis světlo: rušivé světlo [online]. [cit. 2016-03-24]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/rusive-svetlo--15580>
- [7] Svítidla LED ve veřejném osvětlení [online].[cit. 2016-03-24]. Dostupné z <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/svitidla-led-ve-verejnem-osvetleni-myty-a-skutecnosti--15720>
- [8] Elektrosun:norma[online].[cit.2016-04-20].. Dostupné z:<http://www.elektrosun.cz/>
- [9] TECHNICKÉ KVALITATIVNÍ PDMÍNKY STAVEB POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ: *Osvětlení pozemních komunikací*. In: .Praha, 2015, MD-OPK č.j.9/2015-120-TN/3.
- [10] ČSN CEN/TR 13201-1. *Osvětlení pozemních komunikací - Část 1: Výběr tříd osvětlení*. Vyd.2. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [11] ČSN EN 13201-2. *Osvětlení pozemních komunikací - Část 2: Požadavky*. Vyd.2. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [12] ČSN EN 13201-3. *Osvětlení pozemních komunikací - Část 3: Výpočet*. Vyd.2. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [13] ČSN EN 13201-4. *Osvětlení pozemních komunikací - Část 4: Metody měření*. Vyd. 2. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [14] ČSN EN 1264-2, *Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 2: Venkovní prostory*. Vyd. 2. Praha: Český normalizační institut, 2008.

Seznam příloh

Příloha A:	Fotodokumentace	I
Příloha B:	Měření přechodu pro chodce	III



Obrázek 5.8: *Přechod pro chodce umístěný před bytovým domem*

Pozn. Červený obdélník znázorňuje měřenou oblast odpovídající 1.NP



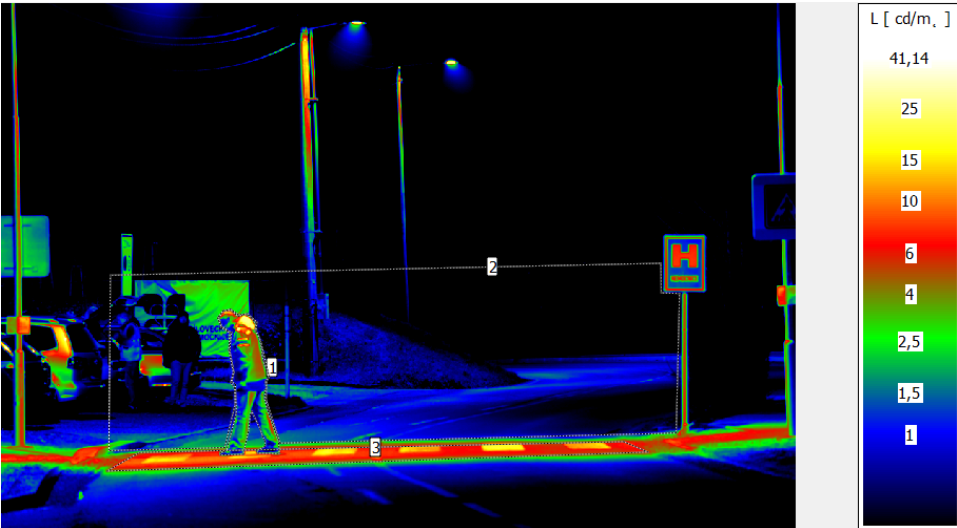
Obrázek 5.9: *Pohled na problematické objekty zprava*



Obrázek 5.10: *Pohled na problematický objekt zleva*

Jasová analýza přechodu

1. Směr 1, svítidla zapnuty



Obrázek 4.4: Jasový snímek přechodu pro chodce směr 1

Tabulka 4.6: *Naměřené hodnoty jasové analýzy obr. 4.4*

Oblast	Minimální jas (cd/m²)	Maximální jas (cd/m²)	Průměrný jas (cd/m²)
Přechod	0,42	20,43	7,86
Pozadí	0,15	25,08	0,66
Chodec	0,39	28,22	3,23

Výpočet kontrastu jasu mezi přechodem a pozadím a chodcem a pozadím:

$$K_{\text{přechod-pozadí}} = \frac{|L_{Př} - L_P|}{L_P} = \frac{|7,86 - 0,66|}{0,66} = \mathbf{10,9} \quad (0.5)$$

$$K_{\text{chodec-pozadí}} = \frac{|L_{Ch} - L_P|}{L_P} = \frac{|3,23 - 0,66|}{0,66} = \mathbf{3,9} \quad (0.6)$$

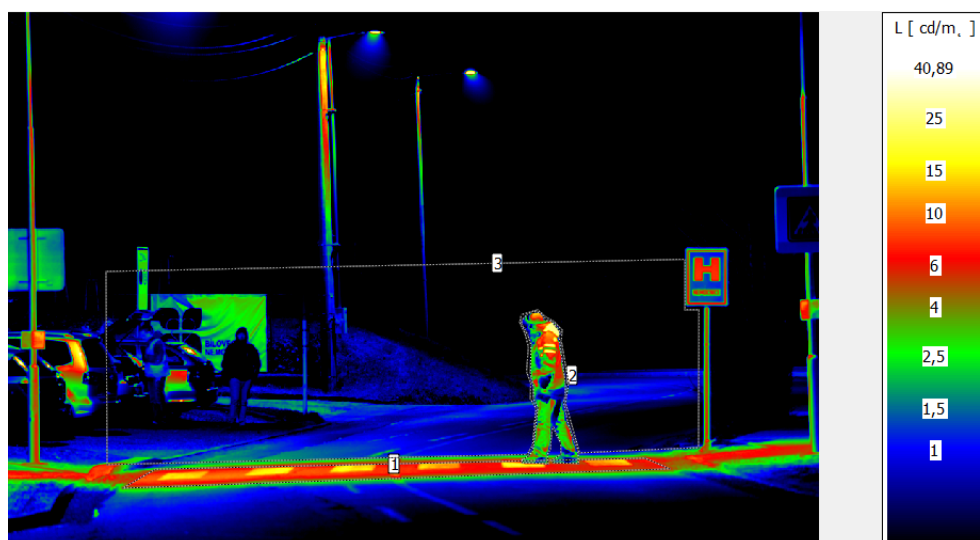
Jedná se o pozitivní kontrast.

L_{Ch} - jas chodce

L_P - jas pozadí

$L_{Př}$ - jas přechodu

Směr 1, svítidla zapnuty



Obrázek 4.5: Jasový snímek přechodu pro chodce směr 1

Tabulka 4.7: Naměřené hodnoty jasové analýzy obr. 4.5

Oblast	Minimální jas (cd/m ²)	Maximální jas (cd/m ²)	Průměrný jas (cd/m ²)
Přechod	0,38	20,29	7,98
Pozadí	0,14	29,8	0,73
Chodec	0,24	27,79	3,94

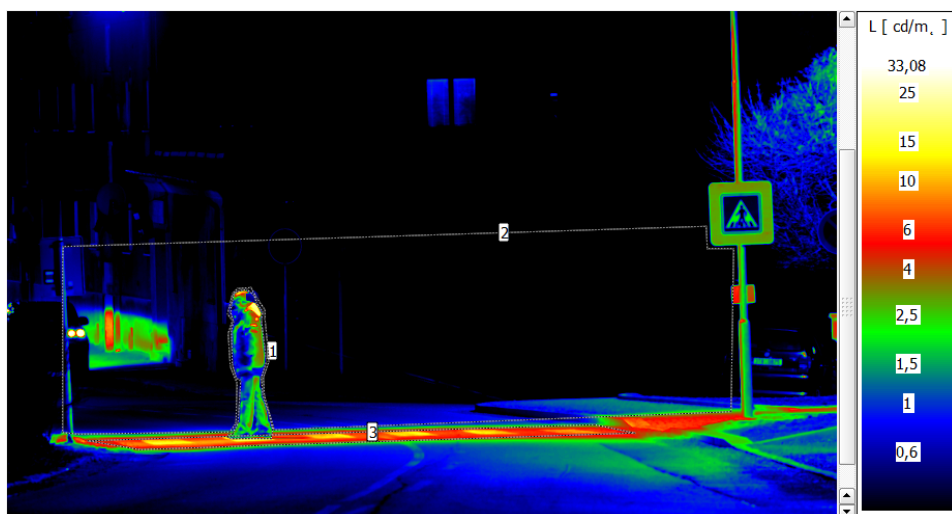
Výpočet kontrastu jasů mezi přechodem a pozadím a chodcem a pozadím

$$K_{\text{přechod-pozadí}} = \frac{|L_{\text{př}} - L_{\text{p}}|}{L_{\text{p}}} = \frac{|7,98 - 0,73|}{0,73} = 9,9 \quad (0.7)$$

$$K_{\text{chodec-pozadí}} = \frac{|L_{\text{ch}} - L_{\text{p}}|}{L_{\text{p}}} = \frac{|3,94 - 0,73|}{0,73} = 4,4 \quad (0.8)$$

Jedná se o pozitivní kontrast.

2. Směr 2, svítidla zapnuty



Obrázek 4.6: Jasový snímek přechodu pro chodce směr 2

Tabulka 4.8: Naměřené hodnoty jasové analýzy obr. 4.6

Oblast	Minimální jas (cd/m ²)	Maximální jas (cd/m ²)	Průměrný jas (cd/m ²)
Přechod	0,51	17,56	6,94
Pozadí	0,17	33,08	0,43
Chodec	0,25	22,9	2,11

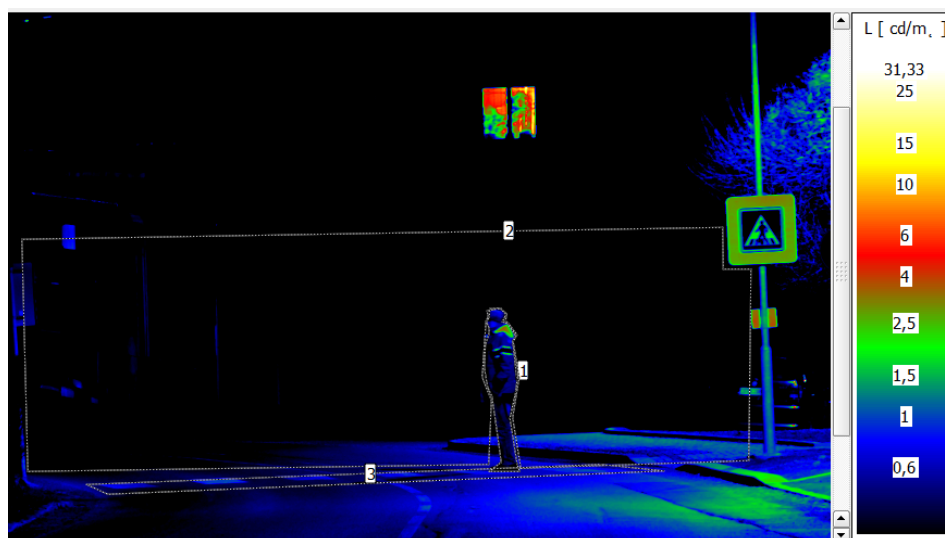
Výpočet kontrastu jasů mezi přechodem a pozadím a chodcem a pozadím:

$$K_{\text{přechod-pozadí}} = \frac{|L_{\text{př}} - L_{\text{p}}|}{L_{\text{p}}} = \frac{|6,94 - 0,43|}{0,43} = \mathbf{15,14} \quad (0.9)$$

$$K_{\text{chodec-pozadí}} = \frac{|L_{\text{ch}} - L_{\text{p}}|}{L_{\text{p}}} = \frac{|2,11 - 0,43|}{0,43} = \mathbf{3,9} \quad (0.10)$$

Jedná se o pozitivní kontrast.

3. Směr 2, svítidla vypnuty



Obrázek 4.7: Jasový snímek přechodu pro chodce směr 2

Tabulka 4.9: Naměřené hodnoty snímku jasové analýzy obr.4.7

Oblast	Minimální jas (cd/m ²)	Maximální jas (cd/m ²)	Průměrný jas (cd/m ²)
Přechod	0,08	1,12	0,54
Pozadí	0,047	1,59	0,19
Chodec	0,068	3,56	0,46

Výpočet kontrastu jasu mezi přechodem a pozadím a chodcem a pozadím:

$$K_{\text{přechod-pozadí}} = \frac{|L_{Př} - L_P|}{L_P} = \frac{|0,54 - 0,19|}{0,19} = \mathbf{1,84} \quad (0.11)$$

$$K_{\text{chodec-pozadí}} = \frac{|L_{Ch} - L_P|}{L_P} = \frac{|0,46 - 0,19|}{0,19} = \mathbf{1,42} \quad (0.12)$$

Jedná se o pozitivní kontrast.

3. Směr 1, svítidla vypnuty



Obrázek 4.8: Jasový snímek přechodu pro chodce směr 1

Tabulka 4.10: Naměřené hodnoty jasové analýzy obr.4.8

Oblast	Minimální jas (cd/m²)	Maximální jas (cd/m²)	Průměrný jas (cd/m²)
Přechod	0,039	2,32	0,87
Pozadí	0,7	30,1	0,56
Chodec	0,04	1,38	0,25

Výpočet kontrastu jasu mezi přechodem a pozadím a chodcem a pozadím:

$$K_{\text{přechod-pozadí}} = \frac{|L_{\text{Př}} - L_{\text{P}}|}{L_{\text{P}}} = \frac{|0,87 - 0,56|}{0,56} = \mathbf{0,5} \quad (0.13)$$

$$K_{\text{chodec-pozadí}} = \frac{|L_{\text{Ch}} - L_{\text{P}}|}{L_{\text{P}}} = \frac{|0,25 - 0,56|}{0,56} = \mathbf{0,55} \quad (0.14)$$

Jedná se o negativní kontrast.

Měření přechodu pro chodce

- vypočtené hodnoty jsou přepočteny pomocí udržovacího činitele 0,8

Osvětlení přechodu vypnuto

Horizontální osvětlenost				Vertikální osvětlenost				Vertikální osvětlenost			
Nástup	8,25	8,38	7,95	Nástup	4,48	4,5	5,0	Nástup	10,12	8,2	8,9
Přechod	7,13	7,44	7,3	Přechod	5,42	5,7	6,8	Přechod	12,15	12,1	11,8
	6,97	7,14	6,85		6,0	6,7	7,0		10,7	11,0	11,4
	7,55	7,27	6,85		6,3	7,0	7,0		10,6	10,97	10,8
	7,86	7,55	7,1		6,4	7,1	7,13		11,4	11,20	10,6
	8,31	7,76	7,36		6,6	7,15	7,17		12,1	11,20	10,8
Nástup	8,80	7,84	7,57	Nástup	6,85	7,37	7,55	Nástup	12,6	11,57	10,7
Nástup	8,9	8,28	7,7	Nástup	6,8	7,93	7,8	Nástup	12,62	11,6	9,5